

Auswahlwettbewerb für die Internationale PhysikOlympiade



Wettbewerbsleitung

Dr. Stefan Petersen
Tel.: 0431 / 880 - 5120
email: petersen@ipho.info

Sekretariat

Sabrina Borchert
Tel.: 0431 / 880 - 5387
email: sekretariat@ipho.info

Anschrift: IPN an der Universität Kiel
Olshausenstraße 62
24098 Kiel

Fax: 0431 / 880 - 3148

Webseite: www.ipho.info

Aufgabensammlung IPhO-Auswahlwettbewerb zur Vorbereitung auf die Auswahlrunden

Stand: 5. Oktober 2018

Diese Aufgabensammlung enthält theoretische Aufgaben aus verschiedenen Auswahlrunden der Physik-Olympiade in Deutschland. Die Sammlung soll als Vorbereitung auf die theoretischen Klausuren der dritten und vierten Wettbewerbsrunde sowie auf die Internationale PhysikOlympiade selbst dienen.

Die in den dritten und vierten Runden durchgeführten dreistündigen Klausuren bestehen typischerweise aus zwei Kurzaufgaben, die meist ohne längere Rechnungen zu lösen sind, und vier regulären Aufgaben. Physikalische Konstanten werden in den Klausuren gegeben. Benutzt werden darf darüber hinaus eine mathematische aber keine physikalische Formelsammlung. Der fachliche Inhalt der Aufgaben orientiert sich an dem Anforderungskatalog des internationalen Wettbewerbs (<http://wettbewerbe.ipn.uni-kiel.de/ipho/anforderungen.html>).

Zur groben Einschätzung der Aufgaben ist zu jeder Aufgabe die ungefähre Schwierigkeit mittels offener oder gefüllter Kreise aufgeführt. Die Skala reicht dabei von sehr leicht (●○○) bis sehr schwer (●●●). Aufgaben, die zusätzlich mit einem * versehen sind, sind besonders herausfordernd. Außerdem ist zu jeder Aufgabe angegeben, aus welcher Auswahlrunde sie stammt.

Die Aufgaben und Lösungen werden sicher noch Fehler enthalten. Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge unter www.ipho.info sind wir sehr dankbar.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabe 1	Größenordnungen (Kurzaufgabe)	7
Aufgabe 2	Amateurfilm (Kurzaufgabe)	7
Aufgabe 3	Loopingbahn (Kurzaufgabe)	7
Aufgabe 4	Auto auf Eisenbahnwaggon (Kurzaufgabe)	8
Aufgabe 5	Erde und Mars (Kurzaufgabe)	8
Aufgabe 6	Baywatch und Erdumfang (Kurzaufgabe)	8
Aufgabe 7	Verfolgungsjagd auf der Marmelbahn (Kurzaufgabe)	9
Aufgabe 8	Erdantrieb (Kurzaufgabe)	9
Aufgabe 9	Ein halber Planet (Kurzaufgabe)	9
Aufgabe 10	Trägheitsmoment (Kurzaufgabe)	9
Aufgabe 11	Föhn (Kurzaufgabe)	10
Aufgabe 12	Kondensatorenreihenschaltung (Kurzaufgabe)	10
Aufgabe 13	Rechteckpuls (Kurzaufgabe)	10
Aufgabe 14	Ladungsquadrat (Kurzaufgabe)	11
Aufgabe 15	Widerstandsnetz (Kurzaufgabe)	11
Aufgabe 16	Widerstandswürfel (Kurzaufgabe)	11
Aufgabe 17	Abbildung mit Spiegel und Linse (Kurzaufgabe)	11
Aufgabe 18	Dicke einer Seifenblase (Kurzaufgabe)	11
Aufgabe 19	Beleuchtete Luftblase (Kurzaufgabe)	12
Aufgabe 20	Schwimmen und Sinken (Kurzaufgabe)	13
Aufgabe 21	Druckbetrachtungen (Kurzaufgabe)	13
Aufgabe 22	Temperaturanstieg (Kurzaufgabe)	13
Aufgabe 23	Kochen eines Straußeneis (Kurzaufgabe)	13
Aufgabe 24	Heiße Scheibe (Kurzaufgabe)	14
Aufgabe 25	Töne im Glas (Kurzaufgabe)	15
Aufgabe 26	Radarfalle (Kurzaufgabe)	15

Aufgabe 27	Myonische Atome und kalte Fusion (Kurzaufgabe)	15
Aufgabe 28	Rutschen und Kippen	16
Aufgabe 29	Flummis	16
Aufgabe 30	Turm	17
Aufgabe 31	Kippender Schornstein	17
Aufgabe 32	Garnrolle	17
Aufgabe 33	Versteckter Stoß	17
Aufgabe 34	Sensibler Billardstoß	18
Aufgabe 35	Scheibenstoß	19
Aufgabe 36	Rollende Billardkugel	19
Aufgabe 37	Flummiphysik	20
Aufgabe 38	Rollende Kugeln	20
Aufgabe 39	Eingespanntes Gummiband	22
Aufgabe 40	Seilwellen	22
Aufgabe 41	Geschwindigkeit und Treibstoffverbrauch eines Flugzeugs	22
Aufgabe 42	Komet	23
Aufgabe 43	Bremsmanöver	23
Aufgabe 44	Beinaheabsturz	23
Aufgabe 45	Gravity-Gradient-Stabilization	24
Aufgabe 46	Energieerzeugung in der Sonne	25
Aufgabe 47	Scheibe im Magnetfeld	26
Aufgabe 48	Hochspannungsleitung	27
Aufgabe 49	Geladene Kugeln	27
Aufgabe 50	Elektrostatik - Spiegelladungen	28
Aufgabe 51	Abgelenkt	29
Aufgabe 52	Plasmaoszillation	29
Aufgabe 53	Dielektrizitätskonstante	30

Aufgabe 54	Magnetische Linse	30
Aufgabe 55	Geladene Kugel am Faden	31
Aufgabe 56	Koaxialkabel	31
Aufgabe 57	Spezifischer Widerstand	31
Aufgabe 58	EIT-Analogon	32
Aufgabe 59	Transformator	33
Aufgabe 60	Teilchen und Draht	33
Aufgabe 61	Radioaktive Stromerzeugung	34
Aufgabe 62	Raumladungen	34
Aufgabe 63	Elektrostatische Molekülfalle	35
Aufgabe 64	Induktionsschleuder	36
Aufgabe 65	Fischbeobachtung	36
Aufgabe 66	Ein unscharfes Bild	37
Aufgabe 67	Schärfentiefe	37
Aufgabe 68	Verschobener Strohhalm	37
Aufgabe 69	Totalreflexion über einer Straße	38
Aufgabe 70	Achromatische Linse	39
Aufgabe 71	Unsichtbares Glasröhrchen	39
Aufgabe 72	Augenoperation	40
Aufgabe 73	Stegplatten	40
Aufgabe 74	Interferenz	40
Aufgabe 75	Beugung an einem Gitter mit Überstruktur	41
Aufgabe 76	Bimetallstreifen	41
Aufgabe 77	Metallplatte auf Dach	42
Aufgabe 78	Zugefrorener See	43
Aufgabe 79	Eine einfache Wärmekraftmaschine	43
Aufgabe 80	Noch eine Wärmekraftmaschine	44

Aufgabe 81	Luftschwingung	44
Aufgabe 82	Wolkenkratzer	44
Aufgabe 83	Aufsteigende Luftmassen	45
Aufgabe 84	Wasserdampf im Kolben	45
Aufgabe 85	Abkühlung einer Thermosflasche	46
Aufgabe 86	Das Leidenfrost-Phänomen	47
Aufgabe 87	Geladenes Gas	48
Aufgabe 88	Ultraschalldiagnostik	48
Aufgabe 89	Lautstärke von Lautsprechern	50
Aufgabe 90	Ionisiertes Helium	51
Aufgabe 91	Grundlagen der Laserkühlung	51
Aufgabe 92	Exoplanet	52
Aufgabe 93	Größe von Eris	53
Aufgabe 94	Relativistischer Lichtkegel	54
Aufgabe 95	Ein seltsamer Anblick (Kurzaufgabe)	54
Aufgabe 96	Undulatorstrahlung	55
Aufgabe 97	Asymmetrische B-Fabrik	55
Aufgabe 98	Kosmische Strahlung	55
Aufgabe 99	Elektronen-Positronen Annihilation	56
Aufgabe 100	Pionenerzeugung und -zerfall	56

Naturkonstanten und gebräuchliche Größen

In den Aufgaben können die folgenden physikalischen Größen verwendet werden. Die Angaben können jeweils bis zur angegebenen Stelle als exakt angenommen werden.

Konstante	gebräuchliche Formelzeichen	Wert
Absoluter Nullpunkt	T_0	$0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$
Atomare Masseneinheit	u	$1,660\,539 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Avogadro-Konstante	N_A	$6,022\,141 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
Boltzmann-Konstante	k_B	$1,380\,65 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12}\text{ A s V}^{-1}\text{ m}^{-1}$
Elektronenvolt	eV	$1\text{ eV} = 1,602\,177 \cdot 10^{-19}\text{ J}$
Elementarladung	e	$1,602\,177 \cdot 10^{-19}\text{ A s}$
Fallbeschleunigung auf der Erde	g	$9,806\,65\text{ m s}^{-2}$
Gravitationskonstante	γ, G	$6,674 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}\text{ s}^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c_0	$2,997\,924\,58 \cdot 10^8\text{ m s}^{-1}$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$1,256\,637\,061 \cdot 10^{-6}\text{ V s A}^{-1}\text{ m}^{-1}$
Normdruck, Atmosphärendruck	p_n	$101\,325\text{ N m}^{-2}$
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6,626\,070 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$
Ruhemasse des Elektrons	m_e	$9,109\,384 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$
Ruhemasse des Neutrons	m_n	$1,674\,927 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Ruhemasse des Protons	m_p	$1,672\,622 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Rydberg-Konstante	R_∞	$1,097\,373\,157 \cdot 10^7\text{ m}^{-1}$
Schallgeschwindigkeit in Luft	c_{Luft}	343 m s^{-1} (bei 20 °C)
Stefan-Boltzmann-Konstante	α, σ	$5,6704 \cdot 10^{-8}\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-4}$
Universelle Gaskonstante	R	$8,314\,46\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$

Aufgabe 1 Größenordnungen (Kurzaufgabe)

●○○○

(3. Runde zur 45. IPhO 2014)

Schätze die folgenden vier Größen sinnvoll ab und ordne sie von klein nach groß.

- A Die Anzahl der Umdrehungen, die ein Fahrradreifen machen müsste, um die Erde zu umrunden.
- B Die Anzahl der Wassermoleküle in einer mit Wasser gefüllten 10 mL-Pipette.
- C Die Anzahl der Zeichen in einem Telefonbuch, das jeden Erdenbürger enthält.
- D Die Anzahl deiner Herzschläge seit deiner Geburt.

Aufgabe 2 Amateurfilm (Kurzaufgabe)

●○○○

(4. Runde zur 43. IPhO 2012, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Auf einem Film ist der senkrechte Fall eines Steines von einem Turm festgehalten worden.

Gib an, in welche Richtung ist die Beschleunigung der Bewegung des Steins gerichtet ist, wenn der Film rückwärts abgespielt wird. Begründe deine Antwort.

Aufgabe 3 Loopingbahn (Kurzaufgabe)

●○○○

(3. Runde zur 45. IPhO 2014)

Eine sehr kleine Murmel mit Radius r durchläuft eine Murmelbahn, die einen Looping mit einem Durchmesser $2R$ mit $R \gg r$ beinhaltet. Die Murmel startet dabei aus einer Höhe h über dem tiefsten Punkt des Loopings.

Bestimme die minimale Starthöhe h_{\min} die notwendig ist, damit die Murmel beim Durchlaufen des Loopings nicht nach unten fällt.

Nimm an, dass die Kugel ohne zu rutschen die Murmelbahn entlang rollt.

Aufgabe 4 Auto auf Eisenbahnwaggon (Kurzaufgabe)

●○○○

(4. Runde zur 43. IPhO 2012, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Zwei Autos gleicher Masse m beschleunigen parallel zueinander aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit v . Einer der Wagen fährt über eine Rampe auf einen ebenfalls mit der konstanten Geschwindigkeit v in die gleiche Richtung fahrenden Zug.

Nun beschleunigen beide Autos auf eine Geschwindigkeit $2v$ relativ zur Erde. Der Fahrer des Autos auf dem Zug muss dafür auf dem Zug aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit v relativ zum Zug beschleunigen, während der Fahrer auf der Straße seine Geschwindigkeit von v auf $2v$ verdoppelt. Demnach muss der Wagen auf der Straße mehr Energie für den Zuwachs an kinetischer Energie aufbringen. Da beide Wagen anschließend gleich schnell sind, scheint hier ein Widerspruch zur Energieerhaltung vorzuliegen.

Diskutiere, ob die Energieerhaltung hier tatsächlich verletzt worden ist.

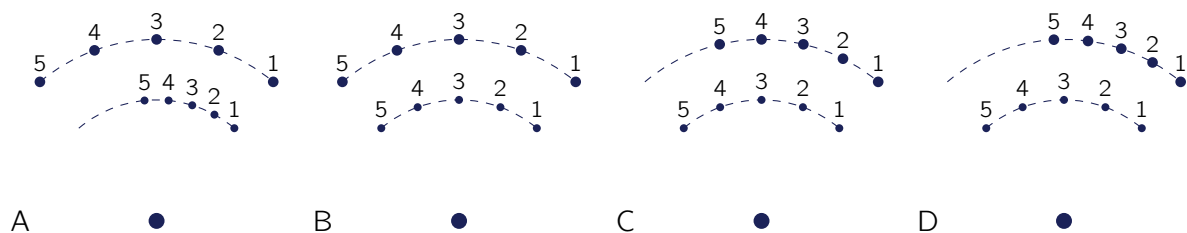
Aufgabe 5 Erde und Mars (Kurzaufgabe)

●○○○

(4. Runde zur 43. IPhO 2012 & 1. Runde zur 48. IPhO 2017)

Die folgenden Abbildungen sollen, von rechts nach links, jeweils fünf Schnappschüsse der Bahnpositionen von Erde und Mars darstellen, die jeweils zu gleichen Zeiten aufgenommen worden sind. Die Verhältnisse der Bahnradien sind maßstabsgetreu, die Planeten aber stark vergrößert.

Gib an, welche der Abbildungen korrekt ist und begründe deine Antwort.



Aufgabe 6 Baywatch und Erdumfang (Kurzaufgabe)

●○○○

(4. Runde zur 45. IPhO 2014, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Mary-Lou, Mitglied des Baywatch-teams, steht abends am Strand von Kalifornien neben ihrem Beobachtungsturm.

Beschreibe, wie sie mit Hilfe eines längeren Maßbandes und ihrer Armbanduhr den Erdumfang bestimmen kann. Gib auch eine Formel zur Berechnung an.

Aufgabe 7 Verfolgungsjagd auf der Marmelbahn (Kurzaufgabe)

●○○

(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Johannes Rothe)

Auf einem horizontalen Bereich einer Marmelbahn rollen zwei gleichartige, homogene Kugeln mit der selben Geschwindigkeit v_0 in einem Abstand d_0 hintereinander her. Nach dem Durchlaufen der Marmelstrecke gelangen sie auf einen weiteren horizontalen Abschnitt, der um h tiefer gelegen ist.

Bestimme, welchen Abstand sie auf diesem tiefer gelegenen horizontalen Abschnitt besitzen,

a) wenn die Kugeln ohne Reibung rutschen?

b) wenn die Kugeln rollen ohne zu rutschen?

Aufgabe 8 Erdantrieb (Kurzaufgabe)

●○○

(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

Aufgeregt kommt der Physiklehrer in die Klasse und berichtet von einem genialen Einfall: „Wenn ich einen Ball senkrecht hoch in die Luft werfe und ihn dann wieder auffange, muss ich sowohl beim Hochwerfen als auch beim Auffangen eine Kraft nach oben ausüben. Die Erde wird also in die andere Richtung beschleunigt. Wenn das nun ganz viele Leute an einem Ort machen, können wir damit die Erde bewegen.“

Beurteile, ob der Lehrer recht hat und begründe deine Entscheidung mit Hilfe einer Rechnung.

Aufgabe 9 Ein halber Planet (Kurzaufgabe)

●●○

(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

In ferner Zukunft entdecken Forscher einen halbkugelförmigen Planeten. Sie landen exakt in der Mitte des flachen Teils der Oberfläche. Die Schwerebeschleunigung des Planeten ist dort genau so groß wie auf der Erde. Die Dichte des Planeten beträgt überall etwa 7900 kg m^{-3} .

Bestimme den Radius des Planeten und gib an, wie groß die Schwerebeschleunigung auf einem kugelförmigen Planeten gleicher Dichte und mit gleichem Radius wäre.

Aufgabe 10 Trägheitsmoment (Kurzaufgabe)

●○○

(4. Runde zur 44. IPhO 2013)

Eine homogene Platte der Dicke d und Masse m besitze die Form eines gleichseitigen Dreiecks der Seitenlänge a .

Berechnen Sie das Trägheitsmoment der Platte bei Drehung um die zur Platte senkrechte Schwerpunktsachse.

Hinweis: Es ist möglich (aber nicht zwingend erforderlich) diese Aufgabe ohne Integration zu lösen.

Aufgabe 11 Föhn (Kurzaufgabe)

●○○○

(1. Runde zur 45. IPhO 2014)

Die Amerikanerinnen Sofia und Grace tauschen Reiseerfahrungen aus: „Bei meiner Reise nach Paris ist mir letzten Monat mein Föhn durchgebrannt“, berichtet Grace. Sofia denkt, dass dies wohl an der höheren europäischen Netzspannung von 230 V gegenüber der in den USA üblichen Spannung von 120 V gelegen hat, und beschließt, für ihre bevorstehende Europareise vorzusorgen. Sie baut einen Vorwiderstand zwischen Steckdose und Föhn ein, so dass der Föhn zu Hause nur noch die Hälfte der Leistung aufnimmt. Kaum in Europa angekommen ...

Geben Sie an, wie die Geschichte mit dem Föhn wohl weitergehen wird und begründen Sie dies physikalisch.

Aufgabe 12 Kondensatorenreihenschaltung (Kurzaufgabe)

●○○○

(4. Runde zur 38. IPhO 2007)

Die Abbildung zeigt zwei in Reihe geschaltete Plattenkondensatoren, wobei das Mittelstück der Länge b vertikal verschiebbar ist. Die Fläche jeder Platte ist F . Zwischen A und B wird eine konstante Spannung U angelegt.

Wie ändert sich die in den Kondensatoren gespeicherte Energie, wenn das Mittelstück entfernt wird?

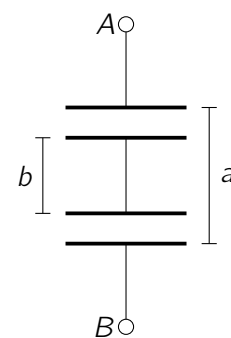


Abbildung 1: Skizze zur Kondensatorschaltung.

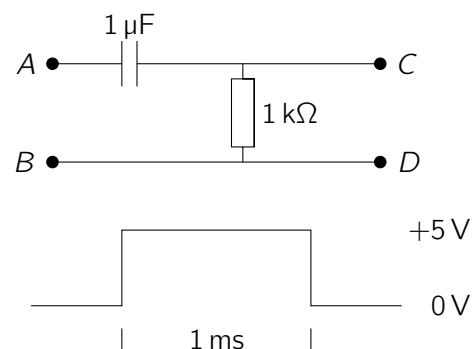
Aufgabe 13 Rechteckpuls (Kurzaufgabe)

●○○○

(3. Runde zur 38. IPhO 2007)

Im nebenstehenden Schaltkreis wird zwischen den Punkten A und B ein Rechteckspannungspuls, wie er rechts im zeitlichen Verlauf zu sehen ist, angelegt.

Gib den zeitlichen Verlauf der Spannung zwischen den Punkten C und D als Funktion der Zeit an und skizziere diesen.



Aufgabe 14 Ladungsquadrat (Kurzaufgabe)

(4. Runde zur 43. IPhO 2012)

●○○

Zwei Positronen und zwei Protonen befinden sich anfänglich in Ruhe an den Ecken eines Quadrates der Seitenlänge a . Dabei sitzen die Positronen auf gegenüberliegenden Ecken des Quadrates.

Schätzen Sie das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Positronen zu der Geschwindigkeit der Protonen ab, wenn sich die Teilchen sehr weit voneinander entfernt haben.

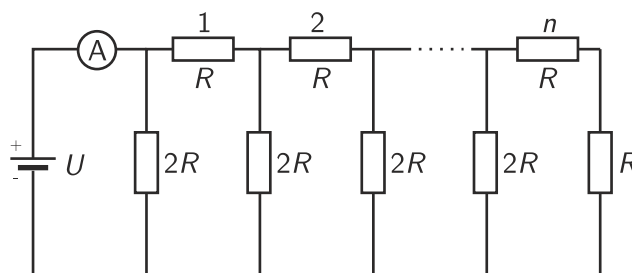
Aufgabe 15 Widerstandsnetz (Kurzaufgabe)

(4. Runde zur 44. IPhO 2013)

●○○

Bestimmen Sie für das dargestellte Widerstandsnetzwerk die Stromstärke I des durch das Amperemeter fließenden Stroms als Funktion der Anzahl n der Glieder des Netzes.

Alle Bauteile können dabei als ideal angenommen werden.



Aufgabe 16 Widerstandswürfel (Kurzaufgabe)

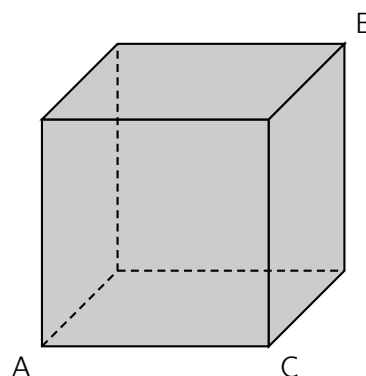
(3. Runde zur 48. IPhO 2017, Idee: Andreas Alvermann, Universität Greifswald)

●●○

Der nebenstehend abgebildete Drahtwürfel ist aus zwölf gleich langen Drähten mit einem Widerstand von je $1,0\,\Omega$ zusammengesetzt.

Berechne sowohl den Widerstand zwischen den Ecken A und B als auch den Widerstand zwischen den Ecken A und C.

Mache dir dabei die Symmetrien der Anordnung zunutze.



Aufgabe 17 Abbildung mit Spiegel und Linse (Kurzaufgabe)

(3. Runde zur 49. IPhO 2018)

●○○

Eine dünne Linse erzeugt ein Bild eines Objektes. Direkt hinter die Linse wird nun ein flacher Spiegel auf die optische Achse gestellt. Die Spiegelfläche ist dabei senkrecht zur optischen Achse. Die übrige Konfiguration bleibt unverändert. In diesem Fall entsteht ein Bild des Objektes, das denselben Betrag für die Vergrößerung aufweist.

Bestimme die Vergrößerung.

Aufgabe 18 Dicke einer Seifenblase (Kurzaufgabe)

(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

●○○

Eine senkrechte Seifenblasenschicht wird horizontal mit einer Natriumlampe (Wellenlänge $589\,\text{nm}$) bestrahlt, und die Reflektion des Lichtes wird beobachtet. Das obere Ende der Schicht ist so dünn, dass kein Licht reflektiert wird und die Schicht dort schwarz erscheint. Unterhalb des oberen Endes erscheinen fünf helle Streifen, der fünfte am unteren Ende der Schicht.

Bestimmen sie die Dicke der Seifenblasenschicht am unteren Ende.

Verwenden sie für den Brechungsindex von Wasser den Wert $1,33$.

Aufgabe 19 Beleuchtete Luftblase (Kurzaufgabe)

(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Im Wasser ist eine Luftblase mit einem Radius $r = 3,0 \text{ mm}$, auf die zentral ein schmales, paralleles Lichtbündel einfällt.

Geben Sie an, ob das Lichtbündel nach Durchgang durch die Blase konvergiert oder divergiert und bestimmen Sie die Brennweite bei dieser Abbildung. Der Brechungsindex von Wasser beträgt etwa 1,33.

Aufgabe 20 Schwimmen und Sinken (Kurzaufgabe)

●○○

(3. Runde zur 45. IPhO 2014)

In einer Flüssigkeit schwimmt ein Körper so, dass nur 3% seines Volumens über dem Flüssigkeitsspiegel sind. Der Volumenausdehnungskoeffizient der Flüssigkeit beträgt $5,2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ und der Längenausdehnungskoeffizient des Körpers $3,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Bestimmen sie, um wie viel sich die Temperatur des Systems ändern muss, damit der schwimmende Körper ganz untergeht.

Aufgabe 21 Druckbetrachtungen (Kurzaufgabe)

●●○

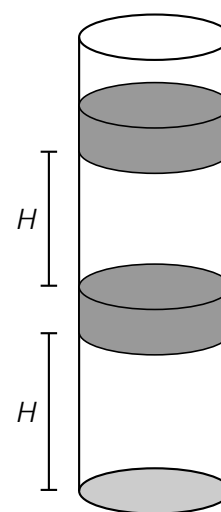
(3. Runde zur 49. IPhO 2018 & 1. Runde zur 40. IPhO 2009)

In einer mit Luft gefüllten, aufrechten Rohr befinden sich, wie nebenstehend gezeigt, zwei identische Scheiben. Das Rohr ist nach oben offen aber an dem unteren Ende verschlossen. Die Scheiben sind so dimensioniert, dass sie das Rohr luftdicht abschließen. Sie lassen sich aber vertikal verschieben.

Sowohl die Höhe des Luftvolumens zwischen der unteren Scheibe und dem Boden des Rohres als auch die des Luftraumes zwischen den Scheiben betragen in der anfänglichen Ruhelage $H = 30 \text{ cm}$. Der Luftdruck zwischen den Scheiben liegt dabei 10 % über dem Atmosphärendruck.

Berechne die Dicke der Scheiben für den Fall, dass sie aus Kupfer mit einer Dichte von $8,95 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ bestehen.

Bestimme, wie hoch die Luftsäule zwischen der unteren Scheibe und dem Boden des Rohres ist, wenn die obere Scheibe langsam an die ursprüngliche Stelle der unteren gedrückt wird.



Aufgabe 22 Temperaturanstieg (Kurzaufgabe)

●○○

(4. Runde zur 44. IPhO 2013)

Im Laufe ihrer Entwicklung verändert sich die Sonne durch die in ihrem Inneren stattfindenden Fusionsprozesse. Bis zum Ende ihrer Phase als Hauptreihenstern wird der Sonnenradius auf etwa das 1,6-fache des jetzigen Wertes ansteigen während ihre Oberflächentemperatur auf etwa 96% des heutigen Wertes sinkt.

Schätzen Sie quantitativ ab, wie sich dadurch die Gleichgewichtstemperatur¹ der Erde, die heute bei etwa 246 K liegt, verändern wird.

Nehmen Sie dabei an, dass sich der Bahnradius der Erde nicht verändert.

Aufgabe 23 Kochen eines Straußeneis (Kurzaufgabe)

●○○

(4. Runde zur 43. IPhO 2012)

Ein gutes Frühstückshühnerei sollte etwa 7 Minuten gekocht werden, damit es im Inneren nicht mehr ganz flüssig ist. Ein Freund hat von einer Farm ein Straußenei mitgebracht und möchte dieses gerne zum Frühstück zubereiten. Nur weiß er nicht, wie lange das Straußenei kochen muss, bevor es genießbar ist.

Schätzen Sie ab, wie lange das Straußenei gekocht werden sollte, wenn es so viel wiegt wie 20 Hühnereier.

¹Das ist die Temperatur, die sich auf einem Planeten ohne Berücksichtigung von Treibhauseffekten einstellen würde.

Aufgabe 24 Heiße Scheibe (Kurzaufgabe)

●○○○

(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Eine Metallscheibe mit einem Loch in ihrer Mitte wird aufgeheizt und dehnt sich dadurch aus.

Geben Sie an, wie sich die Größe des Loches beim Aufheizen verändert.

Aufgabe 25 Töne im Glas (Kurzaufgabe)

●○○○

(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Johannes Rothe)

Mit Glas kann man auf verschiedene Weise Töne erzeugen, z.B. durch Anblasen eines Flaschenhalses oder durch sanftes Streichen über den Rand eines Sektglasses. Füllt man mehr Wasser in die Flasche bzw. in das Sektglas, so verändert sich die Tonhöhe.

Beschreiben Sie jeweils den Mechanismus der Tonentstehung und geben Sie an, wie sich die Tonhöhe durch das Hinzufügen von Wasser ändert.

Aufgabe 26 Radarfalle (Kurzaufgabe)

●○○○

(3. Runde zur 46. IPhO 2015, Idee: Peter Schmüser, DESY)

Ein Auto nähert sich mit der Geschwindigkeit $v = 15 \text{ m s}^{-1}$ einem Radarsender, der Mikrowellen der Frequenz $f_0 = 25 \text{ GHz}$ aussendet. Die vom Auto reflektierte Radarwelle wird von dem beim Sender befindlichen Radarempfänger registriert.

Bestimmen Sie die vom Empfänger gemessene Frequenz f und geben Sie an, wie die Differenzfrequenz $\Delta f = f - f_0$ von v abhängt.

Aufgabe 27 Myonische Atome und kalte Fusion (Kurzaufgabe)

●●○○

(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Wenn in einem Wasserstoffatom das Elektron durch ein Myon mit einer Masse von $m_{\text{Myon}} \approx 207 m_e$ ersetzt wird, entsteht ein so genanntes myonisches Wasserstoffatom.

a) Bestimmen Sie, wie sich dabei der klassische Radius und die Ionisierungsenergie des Atoms ändern.

In den 40er- und 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde untersucht, inwieweit sich in Atomen gebundene Myonen als Katalysator für Fusionsreaktionen eignen könnten. Wird in einem Deuterium-Tritium-Molekül ein Elektron durch ein Myon ersetzt, so kommt es sehr viel leichter zu einer Fusion der Kerne. Bei der Fusion, bei der etwa 18 MeV Energie frei werden, wird mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,4% das Myon erneut freigesetzt und kann eine weitere Reaktion dieser Art durchführen. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,6% bleibt das Myon aber an den entstehenden Heliumkern gebunden und kann keine weiteren Kernfusionen katalysieren. Der gesamte Vorgang vom Myoneneinfang bis zur Fusion geschieht in einer Zeit von etwa $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ s}$. Innerhalb seiner mittleren Lebensdauer von etwa $2,2 \mu\text{s}$ kann ein Myon demnach eine ganze Reihe von Fusionen katalysieren.

b) Bestimmen Sie die so unter optimalen Bedingungen innerhalb der Lebensdauer eines Myons im Mittel durch Fusion frei werdende Energie. Vergleichen Sie den Wert mit der zur Erzeugung eines Myons notwendigen Energie, die in Beschleunigern aufgrund des verwendeten Prozesses und des Wirkungsgrades bei etwa 3 GeV liegt. Beurteilen Sie, inwieweit diese kalte Fusion damit als Energiequelle nutzbar erscheint.

Aufgabe 28 Rutschen und Kippen

●●○

(1. Runde zur 47. IPhO 2016)

Peter behauptet, er kann nur mit einem Lineal, einer vollen Salzpackung und einem Tisch den Haftreibungskoeffizienten zwischen Tisch und Salzpackung herausfinden. Zum Beweis neigt er den Tisch, bis die Salzpackung zu rutschen beginnt. Dies geschieht bei einem Neigungswinkel von 17° . Mit dieser Information bestimmt er den Haftreibungskoeffizienten.

„Das kann ich besser“, entgegnet Sofie und drückt, wie in der nebenstehenden Abbildung angedeutet, gegen die Seite der Packung. Diese beginnt daraufhin zu rutschen. Drückt sie allerdings ein klein wenig weiter oben gegen die Packung, so beginnt sie zu kippen statt zu rutschen.

Berechnen Sie aus dem von Peter ermittelten Neigungswinkel den Haftreibungskoeffizienten zwischen Salzpackung und Tisch.

Erläutern Sie außerdem, wie Sofie durch ihr Vorgehen den Haftreibungskoeffizienten herausfinden kann und bestimmen Sie, auf welcher Höhe sie gegen die Salzpackung drücken kann, damit die Salzpackung gerade noch rutscht.

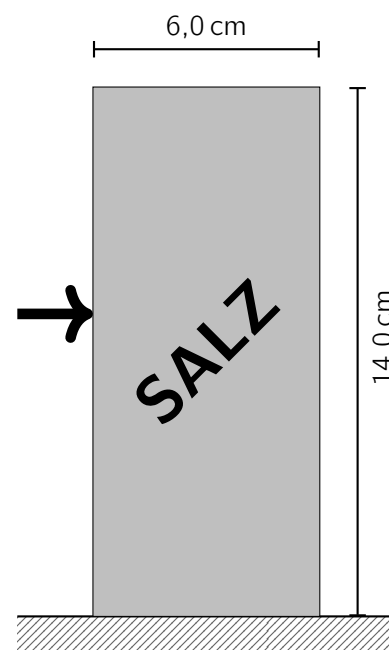


Abbildung 2: Versuch mit einer Salzpackung.

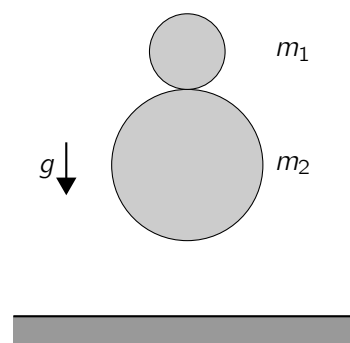
Aufgabe 29 Flummis

●●○

(Auswahlwettbewerb zur IPhO 2013, 4. Runde)

Zwei kleine Flummis mit Massen $m_1 = 50\text{ g}$ und $m_2 = 80\text{ g}$ werden direkt übereinander gehalten und aus einer Höhe $h = 1,0\text{ m}$ fallengelassen. Sie stoßen vollkommen elastisch mit dem Boden und untereinander.

- Bestimme, welche Höhe der leichtere Flummi nach dem Stoß erreicht.
- Gib an, wie die Masse m_2 des zweiten Flummis gewählt werden muss, damit der erste möglichst hoch steigt. Bestimme die in diesem Fall maximal erreichbare Höhe.



Aufgabe 30 Turm

●●○

(4. Runde zur 42. IPhO 2011, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Am Äquator steht ein Turm von 20 m Höhe. Man lässt einen Gegenstand (ohne Luftreibung) von diesem Turm fallen.

Bestimmen Sie, in welcher Entfernung und in welche Richtung vom Lot der Gegenstand auf dem Boden auftrifft.

Aufgabe 31 Kippender Schornstein

●●○

(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

Ein anfänglich aufrecht stehender, zylinderförmiger Schornstein einer Höhe H kippt um. Während des Kippens bricht der Schornstein.

Bestimmen Sie auf welcher Höhe der Schornstein zuerst bricht.

Nehmen Sie an, dass der Schornstein während des Kippens nicht den Boden verlässt und dass sein Durchmesser sehr viel kleiner als seine Höhe ist.

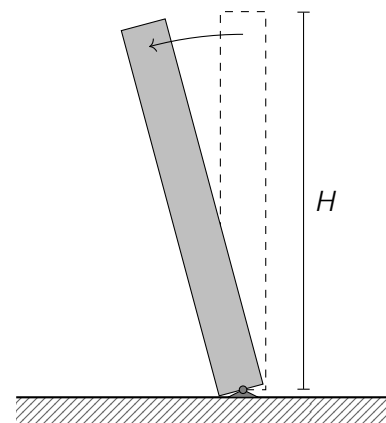


Abbildung 3: Skizze zum kippenden Schornstein.

Aufgabe 32 Garnrolle

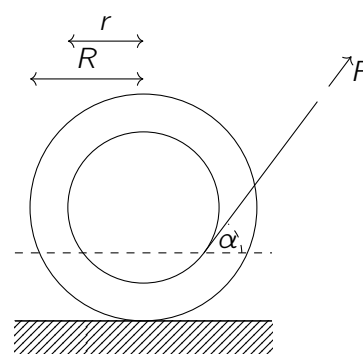
●●○

(4. Runde zur 39. IPhO 2008)

Auf einem Tisch liegt, wie in der Abbildung zu sehen, eine Garnrolle, auf die ein masseloser Faden aufgewickelt ist. Die Radien des inneren bzw. äußeren Zylinders seien r bzw. R . An dem Faden wird mit einer konstanten Kraft F in einem Winkel $\alpha > 90^\circ$ zur Horizontalen gezogen.

Bestimmen Sie das auf die Rolle wirkende Drehmoment in Abhängigkeit von den auftretenden Parametern. Geben Sie außerdem an, in welche Richtung sich die Rolle bewegt.

Nehmen Sie dazu an, dass es keinen Schlupf gibt.

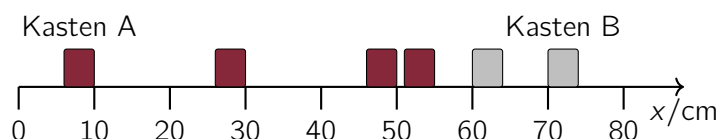


Aufgabe 33 Versteckter Stoß

●●○

(1. Runde zur 49. IPhO 2018)

Zwei Kästen, die reibungsfrei auf einer horizontalen Schiene gleiten können, kollidieren. Die nebenstehende übereinandergelegte Aufnahme zeigt die Positionen der beiden Kästen zu den Zeiten 0,1 s, 0,3 s, 0,5 s und 0,7 s. Die Kästen befinden sich während der ganzen Zeit in der Bildfläche.



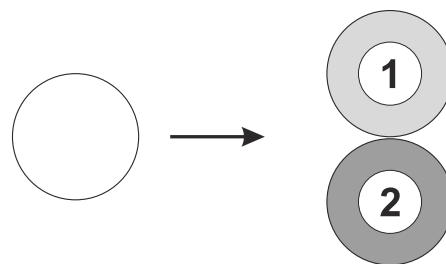
Bestimme, wann und an welcher Stelle der Schiene die Kollision der beiden Kästen stattgefunden hat. Zeige, dass die Lösung eindeutig ist.

Aufgabe 34 Sensibler Billardstoß



(3. Runde zur 43. IPhO 2012)

Drei Billardkugeln gleicher Masse und Größe können sich reibungsfrei auf einem Tisch bewegen. Zwei liegen, wie in der Skizze zu sehen, sehr eng beieinander und die dritte trifft nahezu senkrecht zur Verbindungslinie der ruhenden Kugeln mittig zwischen die beiden.



- a) Berechnen Sie die Geschwindigkeiten der Kugeln nach dem Stoß, wenn die weiße Kugel exakt senkrecht zur Verbindungslinie und mittig auf die beiden anderen Kugeln trifft.

Abbildung 4: Skizze zum Billardstoß.

- b) Bestimmen Sie außerdem die Geschwindigkeiten der Kugeln nach dem Stoß unter der Annahme, dass die obere Kugel (Kugel ①) aufgrund einer leicht in Richtung der ankommenden Kugel verschobenen Lage zuerst getroffen wird.

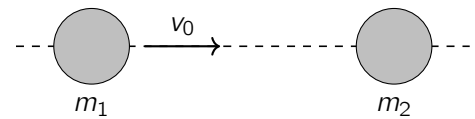
Nehmen Sie an, dass alle Stöße elastisch erfolgen und die anfängliche Geschwindigkeit der ankommenden Kugel $0,30 \text{ m s}^{-1}$ beträgt.

Aufgabe 35 Scheibenstoß

(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

●●●

Zwei Scheiben mit gleichem Radius R und Massen m_1 bzw. m_2 können reibungsfrei auf einem horizontalen Tisch gleiten. Die Scheibe mit Masse m_1 bewegt sich, wie in der Abbildung zu sehen, anfänglich mit einer Geschwindigkeit v_0 zentral auf die zweite, ruhende Scheibe zu.



Während des Stoßvorganges führt die Kompression der Scheiben zu einer abstoßenden Kraft zwischen den Scheiben. Der Verlauf der Kraft F ist nachfolgend in Abhängigkeit von dem Abstand d der Scheibenmittelpunkte dargestellt.

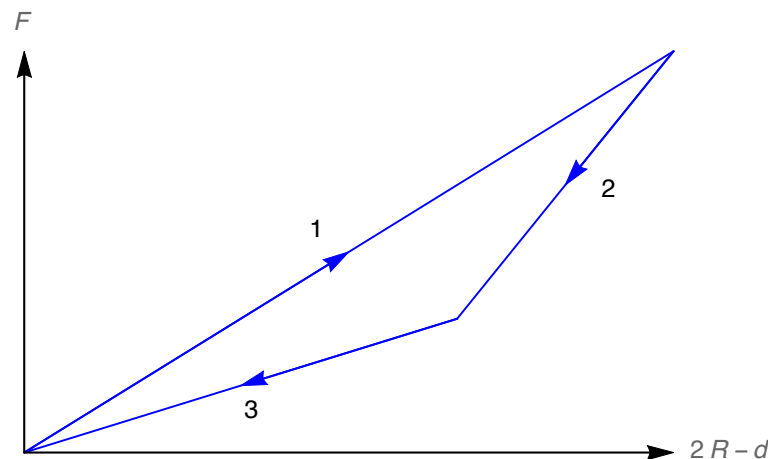


Abbildung 5: Abstoßende Kraft beim Scheibenstoß.

Die Steigungen der einzelnen Geradenabschnitte der Kurve betragen k_1 , k_2 bzw. k_3 . Nach dem Stoß verbleibt die Scheibe mit der Masse m_1 in Ruhe.

- Bestimmen Sie das Verhältnis m_1/m_2 der Scheibenmassen in Abhängigkeit von den Variablen k_1 , k_2 und k_3 .
- Berechnen Sie für die Werte $v_0 = 3,0 \text{ m s}^{-1}$, $k_2 = 2 k_1$ und $k_3 = k_1/2$, mit welcher Geschwindigkeit sich die Scheibe der Masse m_2 nach dem Stoß bewegt.

Aufgabe 36 Rollende Billardkugel

(Auswahlwettbewerb zur IPhO 1992, 3. Runde)

●●○

Bestimme, in welcher Höhe man eine Billardkugel anstoßen muss, damit sie selbst bei glatter Unterlage rollt, ohne zu gleiten.

Aufgabe 37 Flummiphysik

(3. Runde zur 45. IPhO 2014, Idee: Fritz Kießling, DLR Göttingen)



In dieser Aufgabe soll die Bewegung eines Flummis, der elastisch mit dem ebenen Boden stößt, in verschiedenen Situationen untersucht werden.

Der Flummi mit Radius R trifft mit einer Geschwindigkeit \vec{v}' unter einem Winkel θ' zur Horizontalen auf den Boden. Vor dem Stoß besitzt er eine Winkelgeschwindigkeit ω' . Die Rotationsachse sei dabei senkrecht zur Bewegungsrichtung, so dass es ausreichend ist, die Bewegung in zwei Dimensionen zu untersuchen. Die nebenstehende Abbildung illustriert die zu betrachtenden Größen direkt vor und nach dem Stoß.

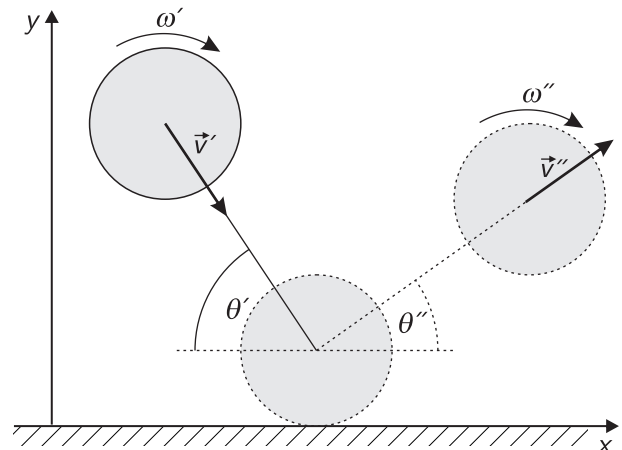


Abbildung 6: Skizze des Flummistoßes.

Zur Modellierung des Stoßes sollen sie annehmen, dass die kurzzeitigen Verformungen des Flummis beim Stoß sehr klein sind und der Flummi damit bei jedem Stoß den Boden nur an einem Punkt berührt. Außerdem soll der Flummi während des Stoßes nicht rutschen. Schließlich können sie alle Effekte der Luftreibung vernachlässigen.

- a) Der Ball trifft ohne anfängliche Drehung ($\omega' = 0$) in einem Winkel von $\theta' = 45^\circ$ auf den Boden.

Berechnen sie den Winkel θ'' nach dem Stoß.

- b) Der Ball fällt senkrecht aus einer Höhe h und mit einer anfänglichen Winkelgeschwindigkeit $\omega' \neq 0$ auf den Boden.

Bestimmen sie die Geschwindigkeit \vec{v}'' die Winkelgeschwindigkeit ω'' und den Winkel θ'' nach dem Stoß.

- c) Der Flummi trifft nach dem Stoß aus Aufgabenteil b) weitere Male auf den Boden.

Beschreiben sie die Bewegung, die der Flummi vollführt. Geben sie dabei insbesondere die Abstände der Auftreffpunkte und die Sprunghöhen an.

- d) Finden sie heraus, ob es Bedingungen gibt, unter denen der Flummi periodisch hin und her springt, d.h. den Boden immer an den beiden gleichen Stellen berührt. Geben sie ggf. eine solche Bedingung an und begründen sie, warum diese zu der periodischen Bewegung führt.

Aufgabe 38 Rollende Kugeln

(4. Runde zur 49. IPhO 2018 und 2. Runde zur 39. IPhO 2008)



Auf einem Waggon der Masse $M = 6,0 \text{ kg}$ werden, wie nebenstehend skizziert, zwei Kugeln gleicher, homogener Dichte sowie Radien von $r = 10 \text{ cm}$ beziehungsweise $2r$ positioniert und zunächst festgehalten. Die Masse der kleineren Kugel beträgt $m = 1,0 \text{ kg}$. Die Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte schließt einen Winkel von $\varphi = 30^\circ$ mit der Horizontalen ein.

Der Waggon wird nun mit einer konstanten Kraft F nach rechts gezogen und die Kugeln werden losgelassen. Sie rollen ohne zu rutschen so, dass die größere Kugel auf dem Waggon aufliegt.

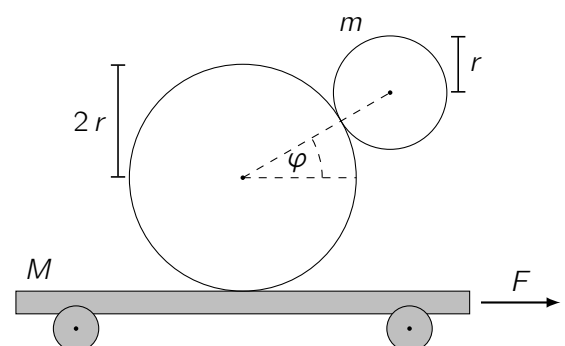


Abbildung 7: Skizze der Kugeln auf dem Waggon.

Bestimme, wie groß die Zugkraft F sein muss, damit der Winkel φ nach dem Loslassen der Kugeln konstant bleibt. Gib an, wie groß dabei der Haftreibungskoeffizient zwischen der großen Kugel und dem Waggon mindestens sein muss, damit diese ohne zu rutschen rollt.

Aufgabe 39 Eingespanntes Gummiband

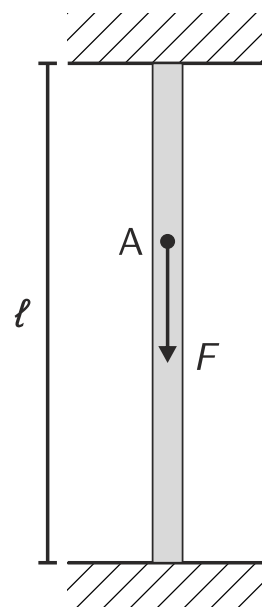
(3. Runde zur 42. IPhO 2011)

●●○

Ein sehr leichtes Gummiband ist, wie abgebildet, zwischen zwei Platten, die einen festen Abstand von $\ell = 40 \text{ cm}$ voneinander haben, eingespannt. Das Gummiband verhalte sich bei Dehnung wie eine Feder mit einer Federkonstanten von $1,0 \text{ N cm}^{-1}$.

Zieht man an einem Punkt A das Gummiband senkrecht nach unten, so verschiebt sich der Punkt A.

- Bestimmen Sie, welchen anfänglichen Abstand x zur oberen Platte der Punkt A haben muss, damit er sich bei einer aufgewendeten Kraft von $F = 15 \text{ N}$ möglichst weit verschiebt und geben Sie an, wie weit sich der Punkt A verschiebt. Nehmen Sie dazu an, dass das Gummiband im entspannten, d.h. ungedehnten, Zustand eine Länge von 40 cm besitzt.
- Bestimmen Sie den entsprechenden Abstand x und die Verschiebung des Punktes A für den Fall, dass das Gummiband im entspannten Zustand eine Länge hat, die deutlich kleiner als ℓ ist.



●●○

Aufgabe 40 Seilwellen

(4. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Martin Lüders)

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von kleinen Transversalwellen auf einem gespannten Seil hängt nur von der Spannkraft F , der Querschnittsfläche A und der Dichte ρ des Seils ab. Ein von der Decke hängendes homogenes Seil der Länge ℓ ist nur durch sein Eigengewicht gespannt. Beim Anregen des oberen Endes breitet sich die Schwingung nach unten aus, wobei die Schwingung nach $0,50 \text{ s}$ ein Viertel der Seillänge unterhalb der Aufhängung ist.

Bestimmen Sie, zu welchem Zeitpunkt die Schwingung die Mitte des Seils erreicht.

Aufgabe 41 Geschwindigkeit und Treibstoffverbrauch eines Flugzeugs

(3. Runde zur 48. IPhO 2017, Idee: Ralf Kleiber, IPP Greifswald)

●●○

Die Frage, warum ein Flugzeug fliegt, lässt sich, etwas salopp formuliert, beantworten mit: „Ein Flugzeug bleibt oben, weil es hinter sich einen Abwind erzeugt“. Mit diesem einfachen Modell lässt sich die für einen bestimmten Flugzeugtyp optimale Fluggeschwindigkeit abschätzen.

Betrachte dazu, wie nebenstehend angedeutet, ein Flugzeug der Masse M , das sich mit einer Fluggeschwindigkeit v horizontal bewegt. Nimm an, dass sich die gesamte Luft in dem von dem Flugzeug durchflogenen Luftzylinder mit Durchmesser s nach dem Durchflug des Flugzeugs mit einer konstanten Geschwindigkeit nach unten bewegt. Die Länge s entspricht dabei der Spannweite des Flugzeugs.

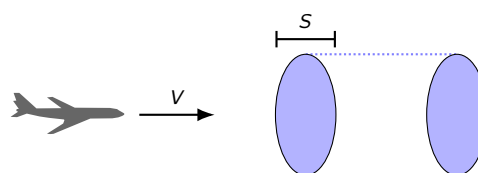


Abbildung 8: Skizze zum Flugzeugflug.

Darüber hinaus wirkt auf das Flugzeug ein Strömungswiderstand, eine der Geschwindigkeit entgegengerichtete Kraft, die sich ausdrücken lässt durch

$$F_w = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2.$$

Dabei ist ρ die konstant anzunehmende Luftdichte und A bezeichnet eine Referenzfläche, in diesem Fall die Flügelfläche des Flugzeugs. Die Größe c_w gibt den Widerstandsbeiwert für die betrachtete Strömung an, der ebenfalls als konstant angenommen werden soll.

- a) Leite mit diesen Informationen einen Ausdruck für die optimale Reisegeschwindigkeit eines Flugzeugs ab. Die optimale Reisegeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit v , bei der das Flugzeug mit minimaler Schubkraft auf konstanter Höhe fliegen kann. Schätze damit den Wert der optimalen Reisegeschwindigkeit für eine Boeing 747 ab.
- b) Berechne den Treibstoffverbrauch einer Boeing 747 bei optimaler Reisegeschwindigkeit pro Person und pro 100 km Flugstrecke, wenn das Flugzeug mit 400 Personen besetzt ist. Verwende für den Energieinhalt des Flugzeugtreibstoffs den Wert 38 MJ L^{-1} und nimm einen Wirkungsgrad der Triebwerke von 30 % an.

Verwende die folgenden Daten für die Abschätzung der optimalen Reisegeschwindigkeit einer Boeing 747:

Masse:	$M = 400 \cdot 10^3 \text{ kg}$
Spannweite:	$s = 64 \text{ m}$
Flügelfläche:	$A = 525 \text{ m}^2$
Luftwiderstandsbeiwert im Reiseflug:	$c_w = 0,018$
Luftdichte in Reiseflughöhe:	$\rho = 0,37 \text{ kg m}^{-3}$

Aufgabe 42 Komet



(3. Runde zur 38. IPhO 2007)

Ein Komet bewegt sich auf einer parabolischen Bahn im Gravitationsfeld der Sonne. Seine Bahnebene fällt mit der Bahnebene der Erde zusammen. Im sonnennächsten Punkt hat der Komet einen Abstand von einem Drittel des Erdbahnradius zur Sonne.

Bestimmen Sie, für wie viele Tage sich der Komet innerhalb der Erdbahn befindet.

Der mittlere Radius der annähernd kreisförmigen Erdbahn beträgt $R = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$ und die Sonnenmasse $m_s = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. Eventuell kann außerdem das folgende unbestimmte Integral zur Lösung hilfreich sein:

$$\int dx \frac{x}{\sqrt{x-a}} = \frac{2}{3} (x+2a) \sqrt{x-a} + \text{const.} \quad \text{für } x > a.$$

Aufgabe 43 Bremsmanöver



(3. Runde zur 37. IPhO 2006)

Eine Raumsonde bewegt sich mit einer Geschwindigkeit u auf einer kreisförmigen Bahn um einen Planeten der Masse M . Während einer kurzen Zeit wird die Raumsonde so abgebremst, dass sich die tangentielle Geschwindigkeit um Δu_1 verringert. Auf der gegenüberliegenden Seite des Planeten wird die Raumsonde erneut abgebremst, so dass sie sich wieder auf einer kreisförmigen Bahn bewegt.

- a) Bestimme die für das zweite Bremsmanöver notwendige Geschwindigkeitsänderung Δu_2 .
- b) Bestimme das Verhältnis der Geschwindigkeiten auf der alten und der neuen Kreisbahn. Ist dieses kleiner, größer oder gleich eins?

Aufgabe 44 Beinaheabsturz



(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

Ein Satellit bewegt sich in einem kreisförmigen Orbit um einen Planeten. Der Radius des Planeten beträgt R . Ein Asteroid, der die gleiche Masse wie der Satellit besitzt, befindet sich anfänglich in Ruhe weit weg von dem Planeten. Er fällt radial auf den Planeten zu und trifft dabei auf den um den Planeten kreisenden

Satelliten. Nach dem, als vollständig inelastisch angenommenen, Stoß bewegen sich der Satellit und der Asteroid zusammen auf einer neuen Bahn, die die Planetenoberfläche gerade noch nicht berührt.

Bestimmen Sie den Radius der ursprünglichen Bahn des Satelliten.

Vernachlässigen Sie Abbremsungseffekte, die durch die Atmosphäre des Planeten auftreten können.

Aufgabe 45 Gravity-Gradient-Stabilization



(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Johannes Rothe)

Ein langgezogener Satellit umläuft die Erde auf einer kreisförmigen Umlaufbahn mit Radius R . Dabei zeigt der Satellit die Tendenz, sich aufzurichten und um die sich dabei einstellende senkrechte „Ruhelage“ zu oszillieren.

- a) Erklären Sie qualitativ, wieso sich der Satellit derart verhält.
- b) Bestimmen Sie die Frequenz, mit der ein Satellit, der aus zwei Massen an den Enden eines dünnen Seils besteht, um die aufrechte Lage oszilliert.
- c) Bestimmen Sie die Frequenz, mit der ein stabförmiger Satellit beliebiger Masseverteilung um die senkrechte Lage oszilliert.

Hinweis:

Nehmen Sie an, dass sich der Schwerpunkt des Satelliten auf einem kreisförmigen Orbit bewegt, und dass der Satellit viel kleiner ist als die Erde.

Aufgabe 46 Energieerzeugung in der Sonne



(3. Runde zur 42. IPhO 2011)

Eine Idee des ausgehenden 19. Jahrhunderts führt die Strahlungsleistung der Sonne auf eine allmähliche Verringerung des Radius der Sonne zurück. Durch diese Gravitationskontraktion kann Energie gewonnen werden.

- a) Berechnen Sie unter geeigneten Annahmen, welche Energie freigesetzt werden würde, wenn der Radius der Sonne um 50% kleiner werden würde, aber die Masse der Sonne dabei konstant bleibt. Die Dichte der Sonne sollte dabei als homogen angenommen werden.
- b) Schätzen Sie die bisherige Lebensdauer der Sonne in diesem Modell unter den folgenden Annahmen ab:
 - Die Energie wird nur über den Mechanismus der Gravitationskontraktion erzeugt.
 - Die Strahlungsleistung und die Masse der Sonne sind konstant gleich den unten angegebenen Werten.
 - Die Ausdehnung der Sonne hat sich von einem anfänglich sehr viel größeren Radius auf den derzeitigen Radius verringert.
- c) Begründen Sie mir Ihren Ergebnissen, warum der Mechanismus der Gravitationskontraktion für die Strahlungserzeugung in der Sonne nicht plausibel ist.

Tatsächlich gewinnt die Sonne ihre Energie hauptsächlich durch die Fusion von Wasserstoff- zu Heliumkernen. Bei der Fusion entsteht über Zwischenschritte aus insgesamt vier Wasserstoffkernen ein Heliumkern.

- d) Schätzen Sie ab, welche Masse an Wasserstoff pro Sekunde in der Sonne fusionieren muss, damit die Strahlungsleistung der Sonne aufrecht erhalten werden kann. Schätzen Sie außerdem ab, wie viel Energie die Sonne insgesamt durch diesen Prozess erzeugen kann, wenn etwa 10% der Sonnenmasse zu Helium fusionieren.
- e) Geben Sie an, wie lange die Sonne demnach mit gleicher Strahlungsleistung strahlen könnte und vergleichen Sie diesen Wert mit dem für die Gravitationskontraktion gefundenen.

Sie können für die Aufgaben die folgenden aktuellen Daten verwenden:

Strahlungsleistung der Sonne	$P_{\text{Sol}} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Radius der Sonne	$R_{\text{Sol}} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
Masse der Sonne	$M_{\text{Sol}} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Ruhemasse eines Heliumkernes	$m_{\text{He}} = 6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

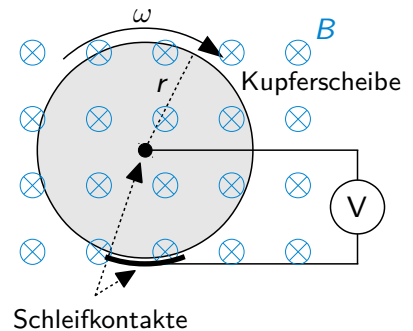
Aufgabe 47 Scheibe im Magnetfeld



(3. Runde zur 46. IPhO 2015, Idee: Ralf Röhlsberger, DESY)

Eine Kupferscheibe mit Radius $r = 20 \text{ cm}$ dreht sich mit einer Winkelgeschwindigkeit ω in einem senkrecht zur Scheibe orientierten, homogenen Magnetfeld der Flussdichte B um ihre zentrale Achse. An der Scheibe sind, wie in der Abbildung skizziert, zwei elektrische (Schleif-)Kontakte angebracht.

Bei einer Winkelgeschwindigkeit von $\omega = 150 \text{ s}^{-1}$ misst das Voltmeter eine Spannung von $0,70 \text{ V}$.



- a) Bestimmen Sie den Wert B der magnetischen Flussdichte.

Nun wird ein ohmscher Widerstand mit Widerstandswert $R = 100 \Omega$ parallel zum Voltmeter geschaltet. Die Scheibe bremst daraufhin merklich ab.

Abbildung 9: Skizze der rotierenden Scheibe.

- b) Berechnen Sie das abbremsende Drehmoment auf die Scheibe und geben Sie an, welche mechanische Leistung der Scheibe zugeführt werden muss, damit sie sich kontinuierlich weiter dreht.

Die beschriebene Anordnung lässt sich auch umgekehrt als Motor betreiben. Auf Ihrem Platz finden Sie eine Batterie, einen starken Magneten, eine Schraube sowie einen Schokoladenriegel mit einer teilweise leitenden Verpackung.

- c) Bauen Sie mit diesen Materialien einen einfachen Motor und demonstrieren Sie dessen Funktionsweise der Klausuraufsicht. Beschreiben Sie Ihren Aufbau auch schriftlich.

Nehmen Sie für diese Aufgabe an, dass der Widerstand der Kupferscheibe sehr klein und dass die Stromverteilung in der Scheibe radialsymmetrisch ist.

Aufgabe 48 Hochspannungsleitung



(3. Runde zur 45. IPhO 2014)

Hochspannungsleitungen werden dazu verwendet, elektrische Energie aus Kraftwerken zu Verbrauchern zu transportieren.

- a) Hochspannungsleitungen sind keine idealen Leiter, sondern haben einen Widerstand R . Betrachten sie eine Leitung in die ein Kraftwerk bei einer Kraftwerksspannung U eine Leistung P einspeist.

Bestimmen sie das Verhältnis von in der Hochspannungsleitung verlorener Leistung P_{Verlust} zu eingespeister Leistung. Geben sie an, wieso es daher sinnvoll ist, solche Leitungen mit Hochspannung zu betreiben.

- b) Eine typische 110 kV-Leitung besteht aus einem Stahlkern mit einer Querschnittsfläche von $A_{\text{Stahl}} = 60 \text{ mm}^2$, der von einem Geflecht aus Aluminiumadern ummantelt ist. Der Gesamtdurchmesser der Leitung beträgt $d = 2,0 \text{ cm}$.

Berechnen sie die den Anteil der Verlustleistung dieser Leitung pro Kilometer verglichen mit der eingespeisten Leistung, die 60 MW betragen soll.

- c) Geben sie an, welche Querschnittsfläche eine Kupferleitung haben müsste, wenn sie den gleichen Widerstand pro Länge wie die in dem vorigen Aufgabenteil betrachtete Hochspannungsleitung haben soll. Bestimmen sie das Verhältnis der Massen dieser beiden Seiltypen und geben sie eine mögliche Begründung an, warum Fernleitungen üblicherweise nicht aus Kupfer hergestellt werden.

Für die Berechnungen können sie annehmen, dass sich der Strom durch einen Draht gleichmäßig auf dessen gesamten Querschnitt verteilt. Außerdem können sie die folgenden Werte verwenden:

Spezifischer Widerstand von Aluminium: $r_{\text{Al}} = 2,64 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$

Spezifischer Widerstand von Stahl: $r_{\text{Stahl}} = 1,50 \cdot 10^{-7} \Omega \text{ m}$

Spezifischer Widerstand von Kupfer: $r_{\text{Cu}} = 1,78 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$

Dichte von Aluminium: $\rho_{\text{Al}} = 2710 \text{ kg m}^{-3}$

Dichte von Stahl: $\rho_{\text{Stahl}} = 7850 \text{ kg m}^{-3}$

Dichte von Kupfer: $\rho_{\text{Cu}} = 8940 \text{ kg m}^{-3}$

Aufgabe 49 Geladene Kugeln



(4. Runde zur 45. IPhO 2014)

An einem langen, isolierenden Faden hängt eine kleine Kugel der Masse m im Schwerfeld der Erde. Die Kugel ist negativ geladen. Eine zweite, ebenfalls negativ geladene Kugel wird horizontal aus einer großen Entfernung langsam auf die erste Kugel zubewegt, bis sie sich an der ursprünglichen Position der hängenden Kugel befindet. Die hängende Kugel befindet sich dann eine Höhe h oberhalb ihrer ursprünglichen Höhe.

Bestimmen sie, welche Arbeit an der zweiten Kugel verrichtet werden muss, um sie in diese Position zu bringen. Drücken sie das Ergebnis durch die im Aufgabentext gegebenen Größen und ggf. Konstanten aus.

Aufgabe 50 Elektrostatik - Spiegelladungen

(3. Runde zur 49. IPhO 2018 & 2. Runde zur 40. IPhO 2009)

Zwei kleine, jeweils mit der Ladung q geladene Staubkörnchen befinden sich in einem Abstand d voneinander. Zwischen die Ladungen wird eine geerdete Metallkugel gebracht. Der Mittelpunkt der Metallkugel fällt dabei mit dem Mittelpunkt der Verbindungsstrecke der beiden Staubkörnchen zusammen.

- a) Bestimme näherungsweise, wie groß der Radius der Metallkugel sein muss, damit auf jedes der beiden Staubkörnchen insgesamt keine Kraft mehr wirkt. (4.5 Pkt.)

Nun wird an die Metallkugel eine Spannung U angelegt.

- b) Berechne die Kraft auf jedes der Staubkörnchen für diesen Fall. Verwende dazu den im vorigen Aufgabenteil bestimmten Radius der Kugel. Falls du diesen nicht bestimmen konntest, kannst du den Ersatzwert $d/10$ für den Radius der Kugel verwenden. (2.5 Pkt.)

Hinweis: Die Gravitationskraft soll in dieser Aufgabe nicht berücksichtigt werden.

Aufgabe 51 Abgelenkt



(1. Runde zur 47. IPhO 2016)

Ein zuvor mit einer Spannung von 100 V beschleunigtes Elektron tritt am Punkt A in ein homogenes elektrisches Feld ein. Die Bahn des Elektrons ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Abstand der gestrichelten Linien in der Abbildung entspricht 4,0 mm und die Bewegung des Elektrons verläuft in der Zeichenebene.

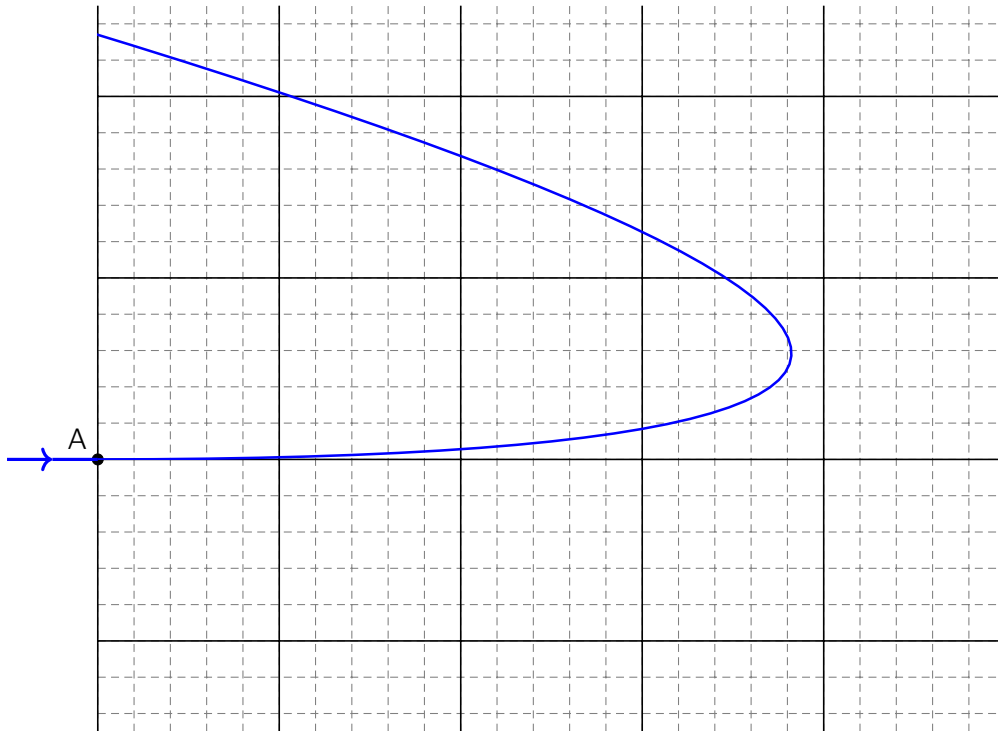


Abbildung 10: Bahn des Elektrons in dem homogenen elektrischen Feld.

- Bestimmen Sie die Stärke und die Richtung des elektrischen Feldes, das zur Ablenkung des Elektrons führt. (7 Pkt.)
- Berechnen Sie die Zeit, die das Elektron für das Durchlaufen dieser Bahn benötigt. (3 Pkt.)

Aufgabe 52 Plasmaoszillation



(3. Runde zur 48. IPhO 2017, Idee: Ralf Kleiber, IPP Greifswald)

Ein elektrisch neutrales Plasma, bestehend aus Elektronen und Ionen, befindet sich in einem begrenzten Raumbereich. Durch äußere Einwirkung, wie z. B. elektromagnetische Felder, können die Elektronen gegenüber den sehr viel schwereren Ionen verschoben werden. Dadurch werden die Elektronen zu Schwingungen angeregt.

Betrachte ein Plasma, das nach der Verschiebung der Elektronen sich selbst überlassen wird. Bestimme die Frequenz dieser so genannten Plasmaoszillation als Funktion der Dichte n der Elektronen und auftretender physikalischer Konstanten.

Aufgabe 53 Dielektrizitätskonstante*(4. Runde zur 48. IPhO 2017)*

Bestimme näherungsweise den Wert der relativen Permittivität oder Dielektrizitätszahl ϵ_r von flüssigem Helium in einem konstanten elektrischen Feld.

Betrachte dazu das Heliumatom vereinfacht als Kern, um den zwei Elektronen harmonisch schwingen und verwende, dass das Helium ultraviolette Licht der Wellenlänge $\lambda = 57 \text{ nm}$ stark absorbiert. Die Dichte von flüssigem Helium beträgt $\rho = 0,13 \text{ g cm}^{-3}$.

Aufgabe 54 Magnetische Linse*(Auswahlwettbewerb zur IPhO 2007, 3. Runde)*

Durch einen Zylinder der Länge L und mit Radius R fließe ein konstanter, homogener Strom der Stromstärke I parallel zur Zylinderachse. Ein Strahl positiv geladener Teilchen (Ladung q) tritt mit einer Geschwindigkeit v parallel zur Zylinderachse in den Zylinder ein.

Zeigen Sie, dass der Teilchenstrahl nach dem Verlassen des Zylinders in einem Punkt fokussiert ist. Wie groß ist die Brennweite dieser "Linse"?

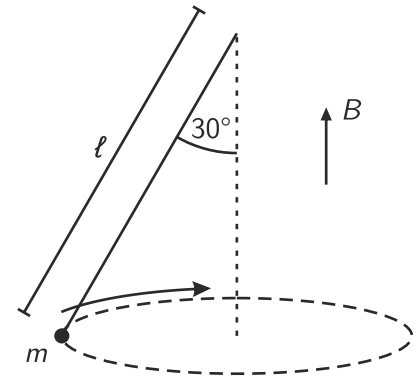
Hinweis: Verwenden Sie die Näherung dünner Linsen und vernachlässigen Sie Randeffekte. Gehen Sie davon aus, dass keine Stöße im Zylinder stattfinden.

Aufgabe 55 Geladene Kugel am Faden

(3. Runde zur 42. IPhO 2011)

●●○

Eine geladene, kleine Kugel mit einer Masse $m = 10\text{ g}$ hängt an einem isolierenden, masselosen Faden der Länge $\ell = 1\text{ m}$ von einer Decke herab. Sie befindet sich in einem homogenen, senkrechten Magnetfeld der Feldstärke $B = 50\text{ mT}$. Die Kugel wird, wie in der Abbildung skizziert, so in horizontale Rotation versetzt, dass die Kugel mit dem Faden einen Winkel von 30° mit der Vertikalen einschließt.



Die Rotationsfrequenzen im bzw. gegen den Uhrzeigersinn unterscheiden sich dabei um $2,0 \cdot 10^{-3}\text{ Hz}$.

- Berechnen Sie mit Hilfe dieser Information die Ladung der Kugel.
- Bestimmen Sie das Mittel aus den Rotationsfrequenzen der beiden Rotationsrichtungen.

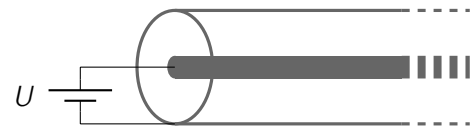
Aufgabe 56 Koaxialkabel

(4. Runde zur 49. IPhO 2018 und 4. Runde zur 31. IPhO 2000)

●●○

Das Innere eines Koaxialkabel besteht im Wesentlichen aus drei Teilen: Einem mittig verlaufenden, geraden Draht, der Kabelseele, die von einem Dielektrikum umgeben ist sowie dem umgebenden zylindrischen Außenleiter. Das Dielektrikum besitzt eine Dielektrizitätszahl $\epsilon_r = 2,5$ und stellt keinen idealen Isolator dar, sondern weist einen spezifischen Widerstand von $9,5 \cdot 10^{11}\text{ }\Omega\text{ m}$ auf. Pro Meter Länge besitzt das Kabel eine Kapazität von 60 pF .

Betrachte ein Kabel einer Länge von 100 m an das, wie nebenstehend skizziert, zwischen Seele und Außenleiter eine Spannung von $U = 1000\text{ V}$ angelegt ist.



Bestimme die Stromstärke des zwischen Kabelseele und Außenleiter fließenden Stromes.

Abbildung 11: Skizze zum Koaxialkabel.

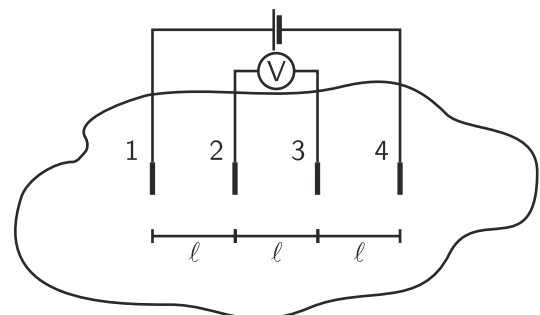
Randeffekte können dabei vernachlässigt werden.

Aufgabe 57 Spezifischer Widerstand

(3. Runde zur 41. IPhO 2010, Idee: Chang Liu)

●●○

Eine Firma stellt Bleche eines Materials mit einer sehr geringen Dicke d her. Um den spezifischen Widerstand des Materials zu bestimmen, setzt man vier Metallnadeln in gleichen Abständen ℓ , wie in der Abbildung, auf ein Blech und verbindet die Nadeln 1 und 4 mit einer Stromquelle, die eine Stromstärke I zur Verfügung stellt. Darüber hinaus wird die Spannung zwischen den Nadeln 2 und 3 gemessen.



Leiten Sie einen Ausdruck für den spezifischen Widerstand des Materials als Funktion der gegebenen bzw. gemessenen Größen ab.

Die Abbildung zeigt nur einen Ausschnitt des Bleches. Sie können annehmen, dass das Blech insgesamt sehr groß ist und dass der Kontaktwiderstand zwischen dem Blech und den Nadeln vernachlässigbar ist.

Aufgabe 58 EIT-Analogon



(4. Runde zur 48. IPhO 2017, Idee: Ralf Röhlsberger, DESY)

Die sogenannte elektromagnetisch induzierte Transparenz (EIT) beschreibt ein Phänomen, bei dem ein Medium, das Strahlung bestimmter Wellenlängen absorbiert, durch zusätzliche Bestrahlung in einem ebenfalls absorbierten Wellenlängenbereich für die Strahlung im ersten Wellenlängenbereich durchsichtig werden kann. Zu diesem Thema wird auch am DESY geforscht (vgl. Röhlsberger, R., Wille, H.-C., Schlage, K., & Sahoo, B. (2012). Electromagnetically induced transparency with resonant nuclei in a cavity. *Nature*, 482(7384)).

Ein ähnliches Verhalten kann bei der Kopplung zweier elektrischer Schwingkreise beobachtet werden. Abbildung 12 zeigt eine solche Schaltung mit zwei identischen Spulen der Induktivität $L = 1,0 \text{ mH}$, zwei Kondensatoren der Kapazitäten C_1 und C_2 sowie einem Widerstand mit Widerstandswert R . Die Spannungsquelle liefert eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Kreisfrequenz ω und einer Spannungsamplitude von $1,0 \text{ V}$.

Der nebenstehende Graph zeigt die im Widerstand umgesetzte Leistung als Funktion der Kreisfrequenz der Wechselspannung für offenen Schalter (durchgezogene Linie) und geschlossenen Schalter (gestrichelte Linie).

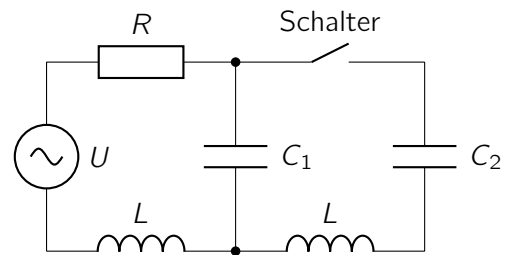


Abbildung 12: Schaltskizze.

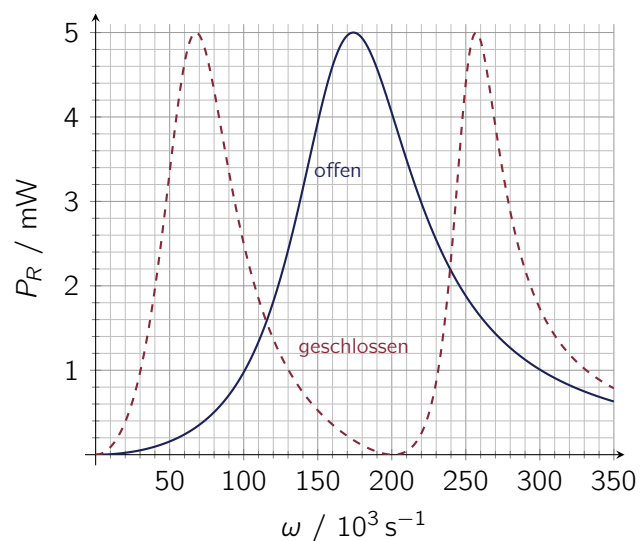


Abbildung 13: Graph der am Widerstand umgesetzten Leistung P_R als Funktion der Kreisfrequenz ω .

Bestimme den Wert R des Widerstandes sowie die Kapazitäten C_1 und C_2 .

Du kannst dabei alle Bauteile als ideal annehmen.

Aufgabe 59 Transformator

●●○

(4. Runde zur 42. IPhO 2011, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Die Primärwicklung eines idealen Transformators wird zum Zeitpunkt $t = 0$ über einen Schalter an eine Batterie der konstanten Spannung U angeschlossen. Die Batterie habe einen vernachlässigbaren Innenwiderstand und der Transformator besitzt ein Windungsverhältnis von 1:1. An der Sekundärwicklung liegt ein Widerstand R . Die Selbstinduktivität der Primärwicklung beträgt L .

Berechnen Sie den Strom durch die Primärwicklung als Funktion der Zeit. Diskutieren Sie insbesondere die Fälle $R \rightarrow 0$ (Kurzschluss) und $R \rightarrow \infty$ (offene Klemmen).

Aufgabe 60 Teilchen und Draht

●●●

(3. Runde zur 45. IPhO 2014)

Aus der Oberfläche eines geraden, langen Drahtes tritt senkrecht ein Elektron mit einer anfänglichen Geschwindigkeit \vec{v}_0 aus. Der Draht hat einen Radius R und werde von einem Strom mit einer konstanten Stromstärke I durchflossen. Die Wirkung der Gravitationskraft können Sie in dieser Aufgabe vernachlässigen.

- Geben Sie die auf das Elektron an der Position (x, y) mit $x > R$ wirkende Kraft an.
- Bestimmen Sie den maximalen Abstand des Elektrons von dem Draht während seiner Bewegung.

Das folgende unbestimmte Integral könnte bei der Bearbeitung hilfreich sein:

$$\int dx \frac{(\ln x)^n}{x} = \frac{1}{n+1} (\ln x)^{n+1} + \text{const.}, \quad \text{für } n \in \mathbb{N}_0$$

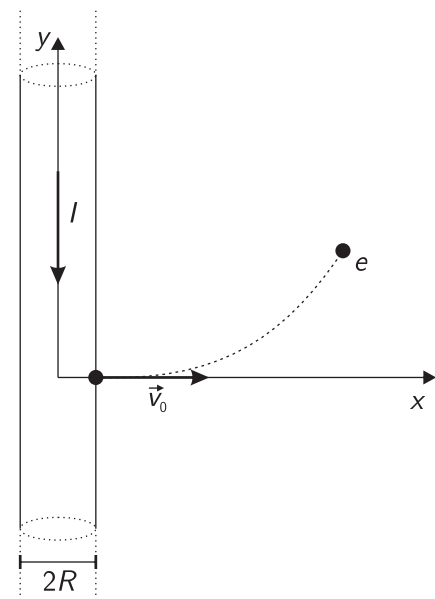


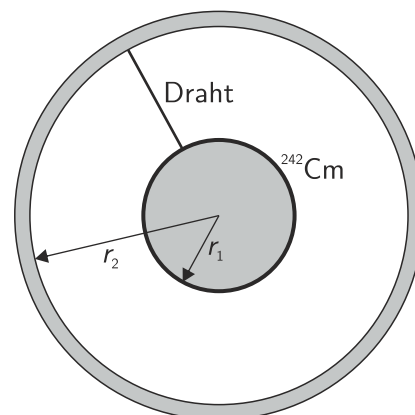
Abbildung 14: Skizze des Drahtes und des austretenden Elektrons.

Aufgabe 61 Radioaktive Stromerzeugung



(4. Runde zur 44. IPhO 2013)

Eine Metallkugel mit einem Radius von $r_1 = 10\text{ cm}$ ist von einer konzentrischen Metallkugelschale umgeben, die einen Radius $r_2 = 20\text{ cm}$ besitzt. Der Raum zwischen der Kugel und der Kugelschale ist evakuiert. Die Metallkugel ist gleichmäßig mit einer dünnen Schicht Curium (^{242}Cm) überzogen. Die Menge des Curium-Isotopes beträgt $0,010\text{ mol}$ und es zerfällt mit einer Halbwertszeit von 163 d unter Aussendung eines α -Teilchens einer Energie von $6,1\text{ MeV}$. Diese α -Teilchen werden entweder von der Kugelschale oder der Metallkugel absorbiert.



Darüber hinaus ist die Kugelschale mit der Metallkugel durch einen dünnen Draht verbunden, der radial verläuft und einen Widerstand R besitzt.

- Bestimmen Sie die sich nach kurzer Zeit einstellende Stromstärke I in dem Draht, wenn dieser einen Widerstand von $R = 100\text{ k}\Omega$ besitzt.
- Berechnen Sie, wie groß der Widerstand des Drahtes sein müsste, damit die Stromstärke in dem Draht nur noch halb so groß wie in Aufgabenteil a) ist.

Es kann angenommen werden, dass der Strom in dem Draht keinen Einfluss auf das elektrische Feld im Zwischenraum hat.

Aufgabe 62 Raumladungen



(4. Runde zur 45. IPhO 2014)

In Röhrendioden bilden sich, auch wenn die Röhren gut evakuiert sind, durch den Heizdraht an der Kathode Elektronenwolken, die zu einer Raumladungsverteilung in dem Raum zwischen Kathode und Anode führen.

Betrachten sie eine idealisierte Röhrendiode, bei der die beheizte Kathode und die Anode parallele Platten in einem Abstand d sind. Die elektrischen Feldlinien des sich einstellenden Feldes verlaufen dann senkrecht zu den Platten.

Die Kathode befinde sich dabei auf dem elektrischen Potential 0 , die Anode auf dem Potential φ_0 . Für das elektrische Potential im Raum zwischen den Elektrodenplatten in einem Abstand $0 \leq x \leq d$ von der Kathode gilt dann

$$\varphi(x) = \varphi_0 \left(\frac{x}{d} \right)^n \quad \text{mit} \quad n \in \mathbb{R}.$$

Bestimmen sie den Wert der Konstanten n .

Aufgabe 63 Elektrostatistische Molekülfalle



(4. Runde zur 46. IPhO 2015, Idee: Sotir Chervenkov, MPQ)

Mit einer Molekülfalle kann die Bewegung von Molekülen beeinflusst werden. In der nebenstehenden Abbildung ist als Beispiel eine elektrostatische Molekülfalle skizziert, in der das elektrostatische Feld mit dem Dipolmoment von Molekülen wechselwirkt.

Die potentielle Energie eines Dipols mit Dipolmoment $\vec{\mu}$ in einem elektrischen Feld \vec{E} beträgt $-\vec{\mu} \cdot \vec{E}$. Die hier verwendeten Moleküle richten ihr Dipolmoment in der Falle antiparallel zum lokalen Feld aus.

Die betrachtete Anordnung besteht aus sechs langen, hexagonal in z-Richtung angeordneten Stäben. In dieser zweidimensionalen Falle können sich kalte Moleküle nur in z-Richtung frei bewegen.

Die Stabmittelpunkte haben einen Abstand $a = 6,0 \text{ mm}$ zum Mittelpunkt der Führung, der Stabdurchmesser beträgt $d = 4,0 \text{ mm}$ und die Stäbe befinden sich abwechselnd auf dem elektrischen Potential $U = \pm 8,0 \text{ kV}$.

Der Betrag des elektrischen Feldes innerhalb der Falle bis zum Mittelpunkt zwischen zwei Stäben hängt in guter Näherung quadratisch von Abstand zur z-Achse ab.

- a) Betrachten Sie kalte Formaldehydmoleküle (CH_2O) mit einem statischem Dipolmoment von $\mu = 2,34 \text{ Debye}$ ($1 \text{ Debye} = 3,33564 \cdot 10^{-30} \text{ As m}$).

Bestimmen Sie näherungsweise die maximale kinetische Energie, die diese Moleküle besitzen dürfen, um einen sicheren Einschluss in der Falle zu gewähren.

Nehmen Sie hierfür an, dass das Feld auf der Verbindungslinie der Mittelpunkte zweier benachbarter Stäbe homogen ist und dass das elektrische Feld in diesem Abstand zur z-Achse maximal ist.

- b) Eine in x-Richtung gekrümmte Strahlführung mit einem Krümmungsradius $R_0 = 125 \text{ mm} \gg a$ dient als Geschwindigkeitsfilter. Betrachten Sie ein Molekül, das mit einer Geschwindigkeit $v_z = 150 \text{ m s}^{-1}$ in z-Richtung in der Mitte der Falle in die Kurve eintritt.

Bestimmen Sie die Auslenkung Δx von der Fallenmitte, die das Molekül im Gleichgewicht erfährt.

Ist ein Molekül zu schnell, verlässt es die Falle.

Schätzen Sie ab, welche Temperatur eintretende Moleküle maximal haben dürfen, bevor ein Großteil von ihnen in dem Filter verloren geht.

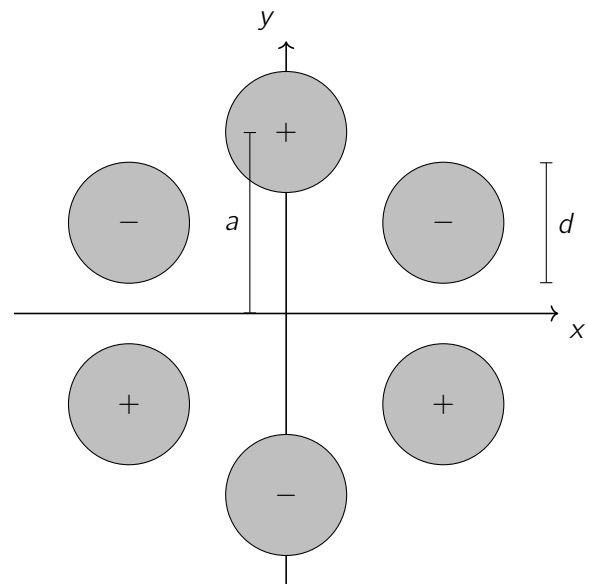


Abbildung 15: Skizze einer elektrostatischen Hexapolstrahlführung.

Aufgabe 64 Induktionsschleuder



(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Johannes Rothe)

Ein Ring (Radius r , Masse m , Widerstand R) befindet sich über einer koaxial angeordneten Spule der Induktivität L mit Innenwiderstand R_L . Zum Zeitpunkt 0 wird eine an die Spule angeschlossene Spannungsquelle mit konstanter Gleichspannung U eingeschaltet. Daraufhin fliegt der Ring nach oben.

- Erklären Sie qualitativ, wieso der Ring nach oben fliegt.
- Berechnen Sie die zeitliche Änderung der Stromstärke I in der Spule und den Verlauf der Kraft auf den Ring unter der Annahme, dass dieser sich während der Dauer des Kraftstoßes kaum bewegt.
- Schätzen Sie ab, welche maximale Endgeschwindigkeit der Ring so erreicht.

Hinweise:

Nehmen Sie für Ihre Betrachtungen an, dass das im Ring induzierte Magnetfeld zu jedem Zeitpunkt sehr viel kleiner als das Feld der Spule ist und dass der Ring stets koaxial zur Spule ausgerichtet ist.

Für den magnetischen Fluss durch den Ring kann in dem relevanten Bereich näherungsweise der Ausdruck

$$\Phi = (a - bz) I$$

mit Konstanten a und b angenommen werden. z bezeichnet dabei die Koordinate entlang der Spulenachse.

Aufgabe 65 Fischbeobachtung



(3. Runde zur 38. IPhO 2007)

Ein Wissenschaftler betrachtet durch eine Lupe aus einem Material mit Brechungsindex $n = 1,5$ einen kleinen Fisch, der 10,0 cm unter der Wasseroberfläche in einem Aquarium schwimmt. Die Lupe besteht aus einer Bikonvexlinse mit Krümmungsradien von 25 cm auf beiden Seiten und wird horizontal in einer Höhe von 5,0 cm so über das Wasser gehalten, dass der Fisch auf der Symmetrieachse der Linse ist.

- Bestimmen Sie, in welcher Position sich der Fisch bei Betrachtung durch die Lupe zu befinden scheint.

Nun wird die untere Hälfte der Lupe ins Wasser getaucht. Die Lupe bleibt dabei horizontal.

- Bestimmen Sie die resultierende gesehene Position des Fisches.

Der Brechungsindex von Wasser beträgt ungefähr $n_{\text{Wasser}} = 1,3$. Sie können die Lupe als dünne Linse annehmen.

Aufgabe 66 Ein unscharfes Bild

(1. Runde zur 47. IPhO 2016)

●●○

Ein Lineal wird fotografiert. Weit hinter dem Lineal befindet sich eine Lichterkette, deren kleine Lämpchen auf dem Foto unscharf erscheinen.

Vereinfachend kann angenommen werden, dass die Abbildung durch eine einzelne, dünne Linse erzeugt wird.

Bestimmen Sie mit Hilfe des Fotos den Durchmesser der Kameralinse.



Abbildung 16: Unscharfes Foto einer Lichterkette.

Aufgabe 67 Schärfentiefe

(3. Runde zur 39. IPhO 2008)

●●○

Bei einer Kamera wird ein fokussiertes Punktobjekt im Abstand g vor der Linse auf die Filmebene abgebildet. Mit der „Schärfentiefe“ Δg bezeichnet man die maximal zulässige Verschiebung des Objektes entlang der optischen Achse, bei der das von dem Objekt auf die Filmebene fallende Licht immer noch nah der ursprünglichen Stelle auftrifft.

Bestimmen Sie die Schärfentiefe Δg als Funktion der Gegenstandsweite, der Brennweite f der Kameralinse, der maximal zulässigen Verschiebung in der Filmebene l und dem Durchmesser D der Kamerablende.

Gehen Sie in dieser Aufgabe von achsennahen Strahlen aus und nehmen Sie an, dass sowohl der Objektabstand groß im Vergleich zur Brennweite der Kameralinse ist als auch D groß gegenüber l ist.

Aufgabe 68 Versobener Strohhalm

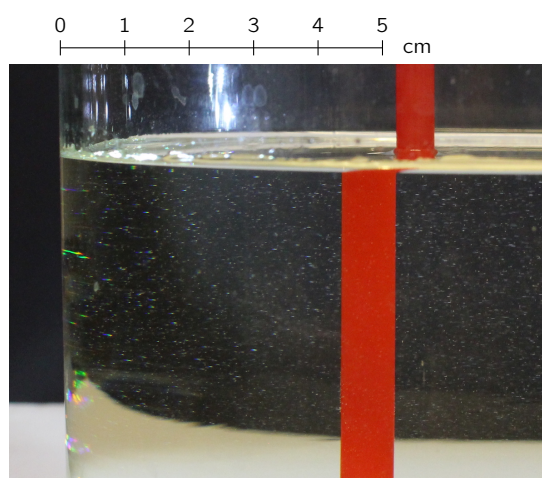
(1. Runde zur 49. IPhO 2018)

●●○

Ein Strohhalm wird mittig in ein teilweise mit einer transparenten Flüssigkeit gefülltes Glas getaucht. Beobachtet man das Glas von der Seite und verschiebt den Strohhalm senkrecht zur Blickrichtung und entlang des Durchmessers, scheint sich der Strohhalm in der Flüssigkeit gegenüber dem Strohhalm oberhalb der Flüssigkeit zu verschieben.

Das mit einem Maßstab versehene Foto zeigt die Situation, bei der sich der Strohhalmteil in der Flüssigkeit gerade von dem Teil oberhalb zu lösen scheint. Der Durchmesser des dabei verwendeten dünnwandigen Glases beträgt 14,4 cm. Nimm an, dass das Glas aus einer Entfernung betrachtet wird, die groß verglichen mit dem Durchmesser des Glases ist.

Bestimme näherungsweise den Brechungsindex der Flüssigkeit.



Aufgabe 69 Totalreflexion über einer Straße



(3. Runde zur 48. IPhO 2017)

Wenn man mit dem Auto über eine lange gerade Straße fährt, so lassen sich an heißen, sonnigen Tagen manchmal in einiger Entfernung Spiegelungen über dem heißen Asphalt beobachten, bei denen es so aussieht, als würden Objekte an der Straßenoberfläche gespiegelt.

Nimm an, dass deine Augen sich etwa 1,5 m über dem Asphalt befinden und dass du die Spiegelungen ab einer Entfernung von etwa 200 m beobachtest.

Bestimme die Lufttemperatur direkt über dem Asphalt.

Du kannst annehmen, dass isotherme Luftschichten immer parallel zum Boden verlaufen. Für den Brechungsindex n der Luft gilt, dass $n - 1$ proportional zur Dichte der Luft ist. Den Luftdruck p kannst du konstant zu 1 atm annehmen.

Darüber hinaus können die folgenden Daten für die Bearbeitung hilfreich sein:

- Lufttemperatur in einer Höhe von 1,5 m über der Straße: 25 °C
- Brechungsindex von Luft bei $T = 20$ °C und $p = 1$ atm: $n_0 = 1 + 2,92 \cdot 10^{-4}$
- Dichte ρ von Luft bei verschiedenen Temperaturen und $p = 1$ atm:

$T/^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30
$\rho/\text{kg m}^{-3}$	1,270	1,247	1,225	1,204	1,184	1,164

Aufgabe 70 Achromatische Linse



(3. Runde zur 43. IPhO 2012)

Der Brechungsindex der meisten Materialien ist abhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes. Oft kann man diese Abhängigkeit im Bereich des sichtbaren Lichtes gut durch eine lineare Näherung modellieren. So gilt für die Brechungsindizes von Kronglas (n_1) und Flintglas (n_2) näherungsweise

$$\begin{array}{llll} n_1 = n_{1,0} + \alpha_1 \Delta\lambda & \text{mit} & n_{1,0} = 1,550 & \text{und} & \alpha_1 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ nm}^{-1}, \\ n_2 = n_{2,0} + \alpha_2 \Delta\lambda & \text{mit} & n_{2,0} = 1,750 & \text{und} & \alpha_2 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ nm}^{-1}. \end{array}$$

Der Ausdruck $\Delta\lambda$ bezeichnet dabei die Differenz der Wellenlänge zu einer Referenzwellenlänge λ_0 mit $\lambda_0 = 600 \text{ nm}$.

Für die Anwendung in optischen Geräten ist es oft wünschenswert, Linsensysteme so zu konstruieren, dass ihre Brennweite unabhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist, die also achromatisch sind. Dazu kann man mehrere Linsen z.B. aus Kron- und Flintglas hintereinandersetzen.

Betrachten Sie ein System, bei dem Licht auf die plane Seite einer dünnen Kronglaslinse fällt, die ohne irgendeinen Luftspalt direkt mit einer ebenfalls dünnen Linse aus Flintglas verbunden ist. Die Brennweite dieses Linsensystems soll für Licht im optischen Wellenlängenbereich konstant 30 cm betragen. Für das System sollen außerdem sphärische Linsen verwendet werden, so dass sich die Brennweite f einer Linse durch den Brechungsindex n des Linsenmaterials und die Krümmungsradien der Begrenzungsflächen mit Hilfe der Linsenschleiferformel ausdrücken lässt durch

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_{\text{ein}}} - \frac{1}{R_{\text{aus}}} \right).$$

Hierbei trägt ein Radius ein negatives Vorzeichen, wenn der Krümmungsmittelpunkt auf der Einfallsseite liegt.

Geben Sie an, ob es sich bei den Linsen um **Sammel- oder Zerstreuungslinsen** handelt und bestimmen Sie deren Krümmungsradien.

Aufgabe 71 Unsichtbares Glasröhrchen



(Auswahlwettbewerb zur IPhO 1979, 1. Runde)

Ein Glasröhrchen mit dem inneren Radius r und dem äußeren Radius R ($r < R$) ist mit einer lumineszierenden Flüssigkeit gefüllt, die unter dem Einfluss von Röntgenstrahlung grünes Licht aussendet. Für grünes Licht beträgt der Brechungsindex des Glases n_1 , derjenige der Flüssigkeit n_2 . Das Röhrchen befindet sich in Luft. Du kannst annehmen, dass der Brechungsindex von Luft 1 beträgt.

Leite eine Bedingung für das Verhältnis $\frac{r}{R}$ ab, die erfüllt sein muss, damit es bei Betrachtung des Röhrchens von der Seite so aussieht, als sei die Dicke von dessen Glaswand Null.

Aufgabe 72 Augenoperation

●●○

(3. Runde zur 42. IPhO 2011)

Eine stark kurzsichtige Frau trägt eine Brille mit einer Stärke von -10 Dioptrien auf beiden Augen. Der Dioptriewert gibt dabei den Brechwert einer Linse, also den Kehrwert ihrer Brennweite in Metern an. Linsen mit negativem Dioptriewert sind Zerstreuungslinsen. Die als dünn anzunehmenden Linsen der Brille befinden sich etwa 2,0 cm vom Auge entfernt. Bei einer Operation werden der Frau künstliche Linsen eingesetzt, so dass sie anschließend einen Text, der 30 cm von ihrem Auge entfernt ist ohne Brille scharf sehen kann. Ihr erscheinen die Buchstaben dabei ebenfalls größer zu sein als vor der Operation.

Finden Sie heraus, ob sie die Buchstaben verglichen mit der Situation vor der Operation im gleichen Abstand zum Auge tatsächlich größer sieht. Berechnen Sie ggf., um wie viel sie die Buchstaben im Vergleich zu vorher vergrößert sieht.

Aufgabe 73 Stegplatten

●●○

(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Richard Reindl)

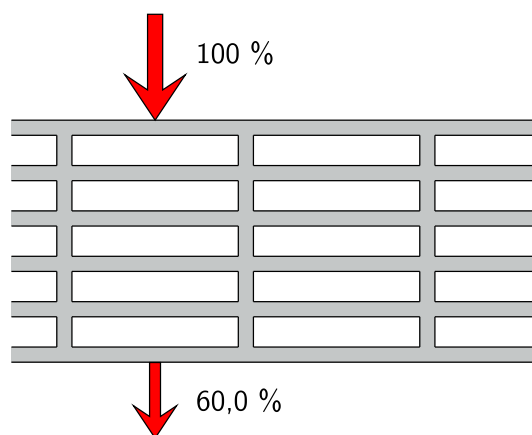
Stegplatten aus Polycarbonat werden z.B. für Terrassenüberdachungen verwendet. Nebenstehende Abbildung zeigt den Querschnitt einer Sechsfachstegplatte. Die Lichtdurchlässigkeit der gesamten Platte für senkrechten Einfall wird mit 60,0% angegeben.

Berechnen Sie den Brechungsindex n des verwendeten Materials unter der Annahme, dass kein Licht absorbiert wird.

Der Reflexionskoeffizient an einer Grenzschicht Luft-Polycarbonat oder Polycarbonat-Luft für senkrechten Einfall ist gegeben durch

$$r = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2.$$

Die vertikalen Streben sollen in dieser Aufgabe nicht betrachtet werden.



Aufgabe 74 Interferenz

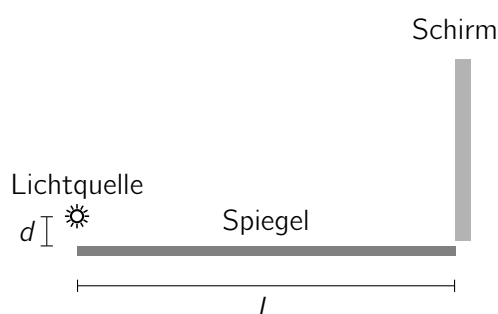
●●○

(3. Runde zur 49. IPhO 2018 und 4. Runde zur 38. IPhO 2007)

In einem Experiment trifft monochromatisches kohärentes Licht von einer kleinen Lichtquelle auf einen Schirm. Ein Teil des Lichtes wird vor dem Auftreffen auf den Schirm, wie nebenstehend zu sehen, an einem Spiegel reflektiert. Der Abstand zwischen Lichtquelle und Schirm beträgt $L = 2,0$ m. Der Abstand d zwischen Lichtquelle und Spiegel ist sehr viel kleiner als L . Auf dem Schirm erkennt man ein Interferenzmuster. Der Abstand zwischen den Intensitätsmaxima beträgt im unteren Teil des Schirmes 1,0 mm.

Vergrößert man den Abstand d um 0,20 mm, so verringert sich der Abstand der Intensitätsmaxima auf $3/4$ des ursprünglichen Wertes.

Erläutere, wie das Interferenzmuster zustande kommt, und bestimme die Wellenlänge des verwendeten Lichtes.



Aufgabe 75 Beugung an einem Gitter mit Überstruktur

●●○

(4. Runde zur 45. IPhO 2014, Idee: Ralf Röhlsberger, DESY)

Durch Beugung von Röntgenstrahlung an Kristallgittern lässt sich deren Struktur mit atomarer Genauigkeit bestimmen. Es kommt oft vor, dass die magnetische Struktur eines Festkörpers eine andere Periodizität aufweist als das Kristallgitter. Welchen Einfluß dies auf die Röntgenbeugung hat, soll mit dieser Aufgabe veranschaulicht werden.

Betrachten sie hierzu die Beugung von kohärenter Röntgenstrahlung der Wellenlänge λ an einem Gitter mit Spaltbreite a und Gitterkonstante g , wie in der nebenstehenden Abbildung skizziert. Es sei $a \ll g$, so dass die Beugung des Einzelspalts vernachlässigt werden kann.

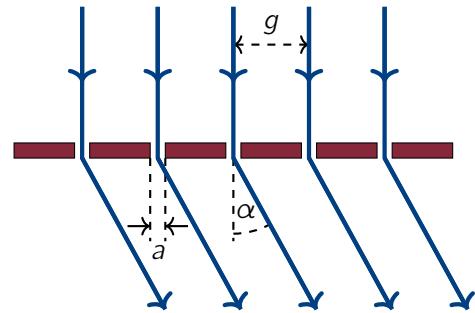


Abbildung 17: Beugung kohärenter Röntgenstrahlung der Wellenlänge λ an Gitter mit Spaltbreite a und Gitterkonstante g .

Auf einem weit entfernten Schirm wird die Intensität des Beugungsbildes, also das Betragsquadrat $|A(\alpha)|^2$ der Wellenamplitude $A(\alpha)$, gemessen.

Die Beugung an dem Gitter kann durch die Beugung an einer Anzahl N an Spalten in gleichen Abständen modelliert werden. Die Intensität lässt sich in diesem Fall ausdrücken durch

$$I(\alpha) = I_0 \left\{ \frac{\sin \left(N \frac{\pi g}{\lambda} \sin \alpha \right)}{N \sin \left(\frac{\pi g}{\lambda} \sin \alpha \right)} \right\}^2.$$

Dabei gibt I_0 die maximale Intensität an. Die folgende Abbildung zeigt die Intensitätsverteilung bei einer bestimmten Konfiguration.

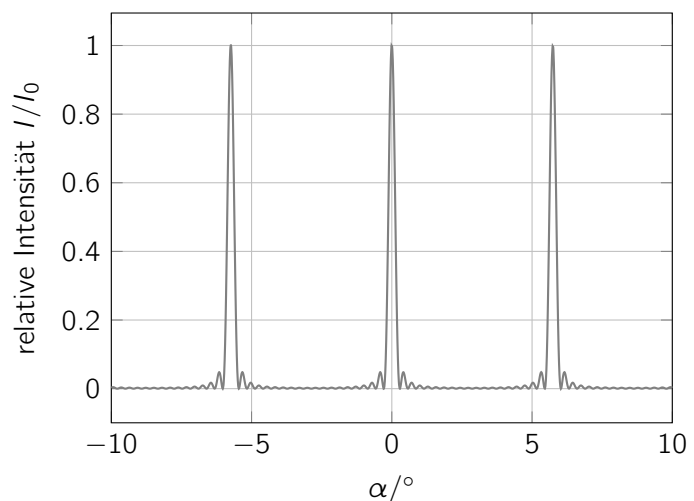


Abbildung 18: Intensitätsverteilung für die Beugung von Röntgenstrahlung ($\lambda = 0,10 \text{ nm}$) an einem Vielfachspalt mit $N = 20$ und $g = 1,0 \text{ nm}$.

Betrachten sie im Folgenden einen Vielfachspalt der so modifiziert ist, dass jeder zweite Spalt nur noch einen Anteil $T < 1$ der Strahlungsamplituden transmittiert.

- a) Bestimmen sie einen Ausdruck für die dadurch entstehende Intensitätsverteilung $I(\alpha)$. I_0 soll dabei weiter für die maximale Intensität vor der Modifikation stehen.

Betrachten sie nun die in Abb. 18 verwendete Konfiguration und nehmen sie für den Transmissionskoeffizienten den Wert $T = 0,10$ an.

- b) Bestimmen sie, bei welchen Winkeln im Bereich $|\alpha| \leq 10^\circ$ sich nach der Modifikation prominente Intensitätsmaxima einstellen. Geben sie auch die relativen Intensitätswerte dieser Maxima an.

Aufgabe 76 Bimetallstreifen

●●○

(3. Runde zur 39. IPhO 2008)

Ein Bimetallstreifen bestehe aus zwei aneinandergeklebten Metallstreifen der Dicke $x/2$ und der linearen Temperatenausdehnungskoeffizienten α_1 beziehungsweise α_2 mit $\alpha_2 > \alpha_1$. Bei der Temperatur T ist der Streifen gerade.

Wie groß ist der Krümmungsradius R des Streifens, wenn die Temperatur um einen kleinen Wert ΔT erhöht wird?

Aufgabe 77 Metallplatte auf Dach



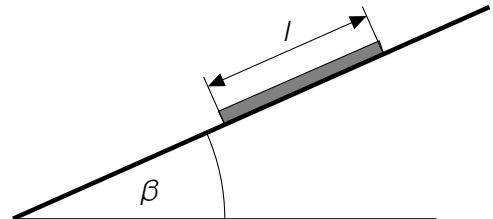
(Auswahlwettbewerb zur IPhO 1996, 1. Runde)

Eine rechteckige Metallplatte (Länge $l = 30 \text{ cm}$, Masse $m = 1,0 \text{ kg}$, Wärmeausdehnungskoeffizient des Metalls $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) liegt auf einem um den Winkel $\beta = 20^\circ$ geneigten, ebenen Dach. Die Reibungszahl zwischen Dach und Metall beträgt $f = 0,5$.

Im Tag-Nacht-Rhythmus ändert sich die Temperatur der Platte um $\Delta\theta = 40^\circ \text{C}$. Man stellt fest, dass sich die Platte nach einem solchen Zyklus der Erwärmung und Abkühlung um eine sehr kleine Strecke dachabwärts bewegt hat.

Bestimme, wie groß diese Strecke ist.

Du kannst dabei annehmen, dass der Temperaturunterschied keinen Einfluss auf das Dach hat.



Aufgabe 78 Zugefrorener See

(3. Runde zur 43. IPhO 2012)

Ein See ist vollständig von einer 5,0 cm starken Eisschicht bedeckt und die Lufttemperatur beträgt seit längerer Zeit -15°C .

- a) Schätzen Sie die Rate ab, mit der die Dicke der Eisschicht zunimmt.
- b) Leider ist die Eisschicht noch zu dünn zum Schlittschuhlaufen. Sie sollte dazu mindestens drei mal so dick sein. Verwenden Sie Ihr Ergebnis um abzuschätzen, wie lange es ungefähr dauert, bis sich die Dicke der Eisschicht verdreifacht hat.

Für diese Aufgabe können Sie die folgenden Werte verwenden:

Dichte von Wasser	ρ_{Wasser}	=	1000 kg m^{-3}
Dichte von Wassereis	ρ_{Eis}	=	917 kg m^{-3}
Spezifische Wärmekapazität von Wasser	c_{Wasser}	=	$4187 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Spezifische Wärmekapazität von Wassereis	c_{Eis}	=	$2060 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Schmelzwärme von Wassereis	q_{Eis}	=	$333,5 \text{ kJ kg}^{-1}$
Wärmeleitfähigkeit von Wassereis	λ_{Eis}	=	$2,25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Aufgabe 79 Eine einfache Wärmekraftmaschine

(4. Runde zur 45. IPhO 2014)

Zwei identische Körper mit einer jeweiligen Wärmekapazität C besitzen die Temperaturen T_1 bzw. T_2 mit $T_1 > T_2$. Sie werden als Energiequelle für eine Wärmekraftmaschine benutzt.

Bestimmen sie die Arbeit, die man aus diesem System maximal erhalten kann.

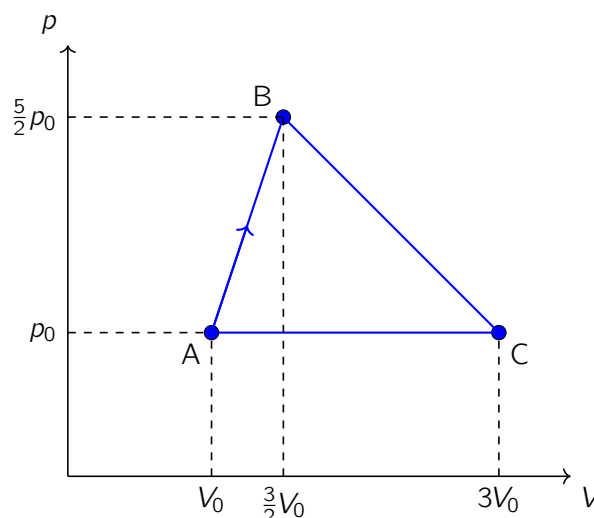
Aufgabe 80 Noch eine Wärmekraftmaschine

●●●*

(4. Runde zur 46. IPhO 2015)

In einer Wärmekraftmaschine durchlaufen n Mol eines einatomigen, idealen Gases den nebenstehenden Kreisprozess im p - V -Diagramm. Die Maschine nimmt dabei Wärme aus einem Reservoir mit Temperatur T_h auf und gibt Wärme an ein Reservoir mit Temperatur T_k ab.

- Bestimmen Sie den Wirkungsgrad dieses Kreisprozesses.
- Leiten Sie eine Bedingung ab, der die Temperaturen T_h und T_k genügen müssen, damit dieser Kreisprozess ablaufen kann.



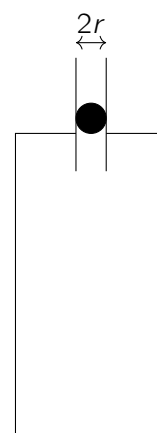
Aufgabe 81 Luftschwingung

●●○

(3. Runde zur 38. IPhO 2007)

Ein luftgefüllter Behälter mit Volumen V wird, wie in der Abbildung mit einem Rohr vom Radius r verbunden, so dass ein Ball mit gleichem Radius und Masse m gerade so hinein passt. Nach Einstellen einer Ruhelage wird der Ball leicht vertikal ausgelenkt.

Wie groß ist die Frequenz der als reibungsfrei zu betrachtenden resultierenden Schwingung in Abhängigkeit von den auftretenden Parametern?



Aufgabe 82 Wolkenkratzer

●●○

(Internationale PhysikOlympiade 2006, Aufgabe 3)

Am Boden neben einem 1000 m hohem Wolkenkratzer beträgt die Umgebungstemperatur etwa 30°C .

Bestimme die Temperatur an der Spitze des Gebäudes.

Nimm dabei an, dass die Luft ein ideales zweiatomiges Gas mit molarer Masse $M = 29\text{ g/mol}$ darstellt und die Atmosphäre indifferent geschichtet ist, das heißt wenn ein Luftpaket vertikal ausgelenkt wird und sich dessen Temperatur adiabatisch ändert, bleibt es in der neuen Höhe.

Aufgabe 83 Aufsteigende Luftmassen



(3. Runde zur 42. IPhO 2011)

Eine große Menge trockener Luft wird in Bodennähe durch die Sonne auf eine Temperatur T_1 aufgeheizt und beginnt nach oben zu steigen.

- a) Schätzen Sie ab, bis zu welcher Höhe die Luftmasse nach oben steigt, wenn die Umgebungstemperatur konstant gleich T_0 und die umgebende Luft ebenfalls trocken ist.

Tipp: Es ist sinnvoll, den Druck der umgebenden Luft bei der Steighöhe zu bestimmen.

- b) Begründen Sie, ob die Luftmasse, verglichen mit dem vorherigen Aufgabenteil höher oder weniger hoch steigen würde, wenn sie anfänglich feucht ist und der Wasserdampf bei einer bestimmten Höhe zu Eiskristallen kondensiert, die zu Boden fallen.

Für diese Aufgabe können Sie die folgenden Werte verwenden:

Luftdruck am Boden	p_0	=	$1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
Molare Masse trockener Luft	m_{mol}	=	$29,0 \text{ g mol}^{-1}$
Adiabatenexponent von Luft	κ	=	1,4
Umgebungstemperatur	T_0	=	10°C
Temperatur der erwärmten Luft	T_1	=	25°C

Aufgabe 84 Wasserdampf im Kolben



(4. Runde zur 43. IPhO 2012)

Ein beweglicher Kolben teilt einen Zylinder in zwei gleiche Teile mit einem Volumen von je $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. In einer der Hälften befindet sich trockene Luft, in dem anderen Teil Wasserdampf und anfänglich 5,0 g flüssiges Wasser.

Bei langsamer Erwärmung des Zylinders kommt der Kolben in Bewegung. Die Verschiebung hört auf, wenn das Volumen eines der Zylinderteile nur noch die Hälfte des ursprünglichen beträgt.

Berechnen Sie die Masse m_L der trockenen Luft und die Masse m_W des anfänglich vorhandenen Wasserdampfes. Bestimmen Sie außerdem sowohl die anfängliche Temperatur im Zylinder als auch die Temperatur, bei der die Verschiebung des Kolbens stoppt.

Verwenden Sie für die molare Masse von trockener Luft den Wert $M_L = 28,9 \text{ g mol}^{-1}$ und für Wasserdampf $M_W = 18,0 \text{ g mol}^{-1}$. Der Sättigungsdampfdruck $E_W(\vartheta)$ für Wasserdampf bei einer Temperatur ϑ ist in der folgenden Tabelle angegeben.

$\vartheta / ^\circ \text{C}$	100	120	140	160	180	200
E_W / kPa	101	199	362	618	1003	1555

Aufgabe 85 Abkühlung einer Thermosflasche



(4. Runde zur 42. IPhO 2011)

In einer Thermosflasche ist der schmale Raum zwischen der Außenwand und der Wand des inneren Getränkebehälters auf einen Druck von etwa 1 Pa evakuiert. Die Thermosflasche fasst einen Liter Flüssigkeit und die Wandfläche des Getränkebehälters beträgt 600 cm^2 . Die Umgebungstemperatur beträgt 20°C .

In die Thermosflasche wird Tee einer anfänglichen Temperatur von 90°C gefüllt.

Schätzen Sie ab, wie viel Zeit vergeht, bis der Tee auf eine Temperatur von 70°C abgekühlt ist. Betrachten Sie dabei die folgenden beiden Fälle:

- a) Die Wände sind nicht verspiegelt und verhalten sich wie schwarze Körper.
- b) Die Wände sind vollständig verspiegelt.

Vernachlässigen Sie Effekte durch den Boden und den Deckel der Thermosflasche. Nehmen Sie außerdem an, dass die Außenwand stets Umgebungstemperatur besitzt. Verwenden Sie für Wasser die Wärmekapazität $4,19 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ sowie die Dichte 1000 kg m^{-3} . Die molare Masse von Luft beträgt etwa 29 g mol^{-1} .

Aufgabe 86 Das Leidenfrost-Phänomen

●●●*

(4. Runde zur 48. IPhO 2017, Idee: APhO 2009)

Wird ein Tropfen Flüssigkeit auf eine heiße Oberfläche gebracht, so verdampft die Flüssigkeit an der heißen Oberfläche und es kann sich eine dünne Dampfschicht ausbilden, die den Rest des Tropfens von der heißen Oberfläche isoliert. Dies ist der so genannte Leidenfrost-Effekt.

In dieser Aufgabe soll die Lebenszeit eines Wassertropfens auf einer heißen Platte untersucht werden. Der Tropfen wird dazu, wie in der nebenstehenden Skizze gezeigt, als halbkugelförmig mit einem Radius R angenommen. Der Tropfen ruht auf einer dünnen Schicht Wasserdampf der Dicke b .

Der Druck $p(r)$ in der Dampfschicht nimmt von der Mitte nach außen hin ab, so dass Wasserdampf nach außen strömt. Die Strömung des Wasserdampfes unter dem Tropfen soll als laminare Strömung einer inkompressiblen, newtonschen Flüssigkeit der Dichte ρ und thermischen Leitfähigkeit κ modelliert werden. Die lokale Strömungsgeschwindigkeit v ist dabei radial orientiert.

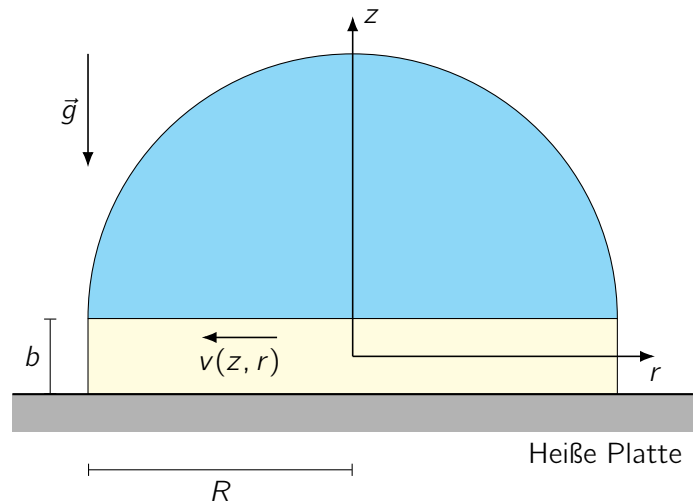


Abbildung 19: Seitenansicht des halbkugelförmigen Tropfens auf der heißen Platte. Der Ursprung des Zylinderkoordinatensystems befindet sich in der Mitte der Dampfschicht. Die Höhe b der Dampfschicht ist stark vergrößert dargestellt.

Wenn η die dynamische Viskosität des Wasserdampfes bezeichnet, dann führt die Geschwindigkeitsverteilung des Dampfes zu einer horizontalen Scher- oder Reibungskraft F mit $F/A = \eta \frac{\partial v}{\partial z}$. Dabei ist A die Fläche eines horizontalen Flächenelementes in der Höhe z .

- a) Zeige, dass die radiale Strömungsgeschwindigkeit v des Wasserdampfes in diesem Modell gegeben ist durch

$$v(z, r) = \frac{z^2}{2\eta} \frac{dp}{dr} + \alpha(r),$$

wobei α unabhängig von der z -Koordinate ist. Bestimme α in Abhängigkeit von η , b und $\frac{dp}{dr}$. (2.0 Pkt.)

Hinweis: Falls du den gegebenen Ausdruck nicht herleiten kannst, kannst du das Ergebnis dennoch verwenden und α bestimmen.

- b) Betrachte einen Zylinder mit Radius $r \leq R$, Höhe b und Mittelpunkt im Koordinatenursprung in der Wasserdampfschicht. Finde einen Ausdruck für das aus dem Zylinder pro Zeit ausströmende Wasserdampfvolumen \dot{V} . (1.0 Pkt.)
- c) Nimm an, dass der Wasserdampf durch einen quasistationären Wärmefluss von der heißen Platte zu dem Tropfen erzeugt wird und bestimme den Druck $p(r)$ in der Dampfschicht. Die konstante Temperaturdifferenz zwischen der Platte und dem Tropfen beträgt dabei ΔT und h bezeichne die spezifische Verdampfungswärme des Wassers (die zusätzlich zum Erwärmen des Wassers notwendige Energie soll vernachlässigt werden). Der äußere Luftdruck sei p_{atm} . (2.0 Pkt.)
- d) Leite einen Ausdruck für die Dicke b der Dampfschicht ab. (1.5 Pkt.)

- e) Bestimme die Massenänderungsrate \dot{m} des Tropfens durch das Verdampfen des Wassers. (1.0 Pkt.)
- f) Berechne schließlich die Lebensdauer eines stets halbkugelförmigen Tropfens mit anfänglichem Radius $R = 1,0 \text{ cm}$. Verwende dazu die folgenden weiteren Größen: $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\rho = 0,42 \text{ kg m}^{-3}$, $h = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$, $\kappa = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\Delta T = 200 \text{ K}$. Die Dichte von Wasser beträgt 1000 kg m^{-3} . (1.5 Pkt.)

Aufgabe 87 Geladenes Gas



(3. Runde zur 44. IPhO 2013, Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Eine Kugel mit einem Radius von $1,0 \text{ cm}$ ist mit Wasserstoffgas bei einem Atmosphärendruck von $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ und bei der Umgebungstemperatur von 20°C gefüllt.

Sie sollen in dieser Aufgabe herausfinden, was passieren würde, wenn sich die Ladungen von Proton und Elektron um den Bruchteil von 10^{-6} unterscheiden.

- a) Argumentieren Sie, welche Ladungsverteilung innerhalb des Gases sich schließlich einstellen würde.
- b) Bestimmen Sie, mit welchem Druck das Gas in diesem Fall gegen die Kugel drücken würde.

Aufgabe 88 Ultraschalldiagnostik

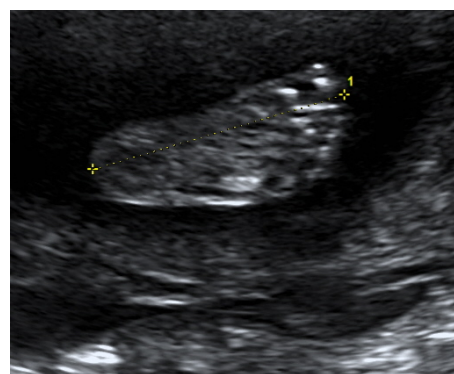


(1. Runde zur 49. IPhO 2018)

In der Medizin werden Ultraschallwellen zur Bildgebung eingesetzt, indem sie in den Körper gesendet und die an Übergängen zwischen verschiedenen Geweben auftretenden Reflexionen analysiert werden. Wenn eine Schallwelle senkrecht auf einen solchen Übergang trifft, wird ein Anteil

$$\left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

der Schallintensität reflektiert. Die Größen Z_1 und Z_2 bezeichnen dabei die Schallimpedanzen der beiden Gewebearten. Die Schallimpedanz eines Gewebes lässt sich in guter Näherung als Produkt aus der Schallgeschwindigkeit darin und dessen Dichte berechnen.



Babyfuß als Ultraschallbild.

Informationen über die Laufzeit des reflektierten Signals und dessen Intensität erlauben damit Rückschlüsse über die untersuchte Körperregion. In der unten stehenden Tabelle sind die Dichten und Schallgeschwindigkeiten einiger Medien und typischer Körpergewebe aufgeführt.

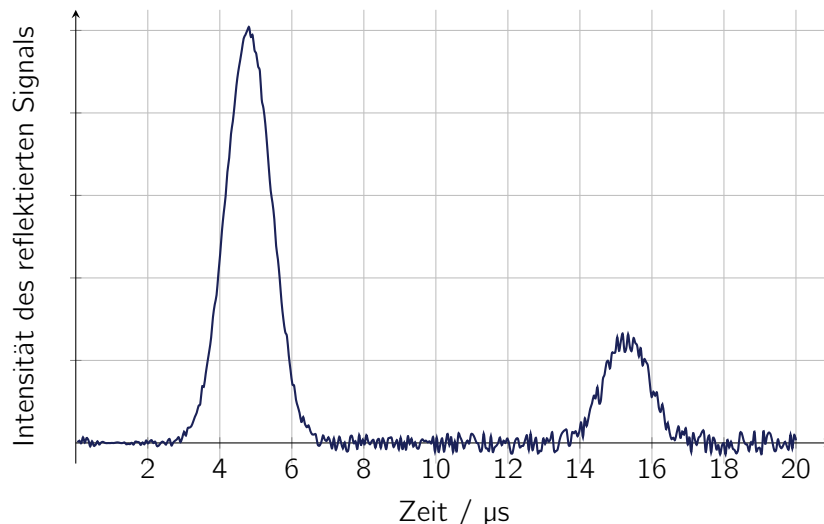
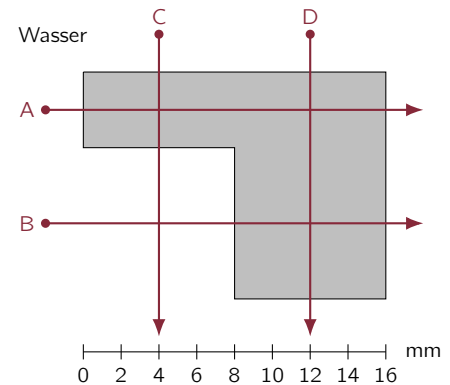
- a) Berechne den beim Übergang von Fett- zu Muskelgewebe reflektierten Anteil der einfallenden Schallintensität und erläutere, warum vor einer Ultraschalluntersuchung üblicherweise ein wasserhaltiges Gel auf die Haut aufgebracht wird.

Ultraschallwellen werden im Körpergewebe exponentiell gedämpft, wobei die Dämpfung in guter Näherung proportional zur Frequenz der Ultraschallwelle ist. In der rechten Spalte der Tabelle findest du einige typische Dämpfungskonstanten. Eine höhere Frequenz führt auf der anderen Seite zu einer besseren räumlichen Auflösung. Daher wird zur Untersuchung in der Regel die maximale Ultraschallfrequenz gewählt, bei der das detektierte Signal noch nicht zu schwach zur Auswertung ist.

- b) Betrachte eine 10 cm dicke Schicht Muskelgewebe. Bestimme wie groß die Frequenz einer Ultraschallwelle maximal sein darf, wenn deren Intensität nach Durchlaufen der Schicht noch mindestens ein Tausendstel des anfänglichen Wertes betragen soll. Schätze das damit erreichbare Auflösungsvermögen unter der Annahme ab, dass die Auflösung etwa der Wellenlänge der Ultraschallwelle entspricht.

Jetzt kannst du dich an deine erste einfache „Ultraschalluntersuchung“ wagen. In der nebenstehenden Abbildung ist ein Körper in Wasser dargestellt, der mit Hilfe von Ultraschallwellen untersucht werden soll.

Der Ultraschallkopf wird dazu an einem der Punkte A bis D positioniert und sendet Schallwellen der Frequenz 3,5 MHz in kurzen Pulsen entlang der Pfeilrichtung aus. Der Graph zeigt den Intensitätsverlauf des von dem Ultraschallkopf gemessenen reflektierten Ultraschallpulses.



- c) Finde heraus, von welchem der Punkte A bis D die Untersuchung durchgeführt wurde und begründe, ob der Körper eher aus Fett- oder Muskelgewebe besteht.

Verwende die folgenden groben Werte für diese Aufgabe:

Medium/ Gewebe	Dichte in g cm^{-3}	Schallgeschwindigkeit in m s^{-1}	Dämpfungskonstante in $\text{m}^{-1} \text{MHz}^{-1}$
Luft	0,0012	340	38
Fett	0,92	1450	11
Wasser	1,00	1480	0,05
Muskel	1,07	1580	25
Knochen	1,6	4080	200

Aufgabe 89 Lautstärke von Lautsprechern



(3. Runde zur 46. IPhO 2015, Idee: Manuel Bärenz)

Eine Firma hatte sich auf punktförmige Lautsprecher für empfindliche Ohren spezialisiert, die Schallwellen isotrop in alle Richtungen abgeben und in einem Meter Entfernung einen Schalldruckpegel von 1 dB (deziBel) besitzen. Der Schalldruckpegel kann als Maß für die Lautstärke der Lautsprecher verwendet werden.

Ein Entwickler hat zwei dieser Lautsprecher kohärent direkt nebeneinander gestellt und versucht zu klären, wie groß die Lautstärke der beiden Lautsprecher gemeinsam ist.

- a) Bestimmen Sie den maximal erreichbaren gemeinsamen Schalldruckpegel der zwei Lautsprecher in einer Entfernung von einem Meter.

Die Nachfrage nach Lautsprechern, die höhere Lautstärken abgeben, ist doch höher als vermutet und die Firma möchte aus ihren Lautsprechern Systeme herstellen, die auch größere Lautstärken bedienen.

- b) Geben Sie an, wie viele der punktförmigen Lautsprecher man kohärent direkt nebeneinander stellen muss, um in einer Entfernung von einem Meter einen Schalldruckpegel von mindestens n dB zu erreichen. Berechnen Sie außerdem, wie viele Lautsprecher nötig sind, um so einen Schalldruckpegel von 80 dB zu erzeugen und geben Sie Ihre Einschätzung zu der Frage ab, ob die Firma mit ihrer Idee Erfolg haben wird.

Ein Kunde hat ein System aus zwei Lautsprechern gekauft und findet es nun doch zu laut. Er bestellt den Kundenservice und wünscht, dass sein Lautsprechersystem auf 1 dB heruntergetrimmt wird. Da die Lautsprecher fest verkabelt sind, kann man nicht einfach einen der Lautsprecher ausschalten, sondern lediglich mit einer Trimmerschraube den Phasenwinkel der Schallwellen einstellen.

- c) Bestimmen Sie, auf welchen Phasenwinkel die Trimmerschraube eingestellt werden muss, um die gewünschte Lautstärke zu erreichen. Alternativ könnte man die Lautsprecher auch weiter weg aufstellen. Geben Sie an, in welcher Entfernung von dem Lautsprechersystem aus zwei Lautsprechern (ohne Verstellung des Phasenwinkels) der Schalldruckpegel 1 dB beträgt.

Hilfestellung: Ein deziBel ist ein zehntel Bel. Der Bel-Wert einer Schallwelle ist der Zehnerlogarithmus des Quadrats des Quotienten der Schalldruckamplitude der Welle und einer festen Schalldruckamplitude \hat{p}_0 , die die Wahrnehmungsgrenze des menschlichen Gehörs angibt, also

$$\text{Schalldruckpegel in Bel} = \log_{10} \left(\frac{\hat{p}}{\hat{p}_0} \right)^2.$$

Die Schalldrücke zweier kohärenter Wellen addieren sich beim Überlagern.

Aufgabe 90 Ionisiertes Helium



(3. Runde zur 37. IPhO 2006)

Die Energieniveaus von einfach ionisiertem Helium (He^+) sind wasserstoffartig mit Energien von

$$E_n = -\frac{54,4 \text{ eV}}{n^2} \quad \text{mit } n = 1, 2, \dots$$

Ionisiertes Heliumgas im Grundzustand wird mit elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich $24 \text{ nm} \leq \lambda \leq 50 \text{ nm}$ aus einer Richtung bestrahlt.

- Berechnen Sie die Ionisationsenergie des He^+ -Ions.
- Berechnen Sie die Anzahl und die Wellenlängen der Absorptionslinien, die zu Übergängen aus dem Grundzustand gehören, wenn entgegengesetzt zur einfallenden Strahlung beobachtet wird.
- Welche Emissionslinien treten auf, wenn entgegengesetzt bzw. senkrecht zur Richtung der einfallenden Strahlung beobachtet wird. Bestimmen Sie die Wellenlänge dieser Emissionslinien.

Aufgabe 91 Grundlagen der Laserkühlung



(3. Runde zur 48. IPhO 2017, angelehnt an eine Aufgabe der IPhO 2009)

In dieser Aufgabe wird die Grundlage der Kühlung eines Gases mit Hilfe von Lasern untersucht.

Betrachte dazu ein Atom, das sich mit einer Geschwindigkeit v in eine Richtung bewegt. Der Einfachheit halber beschränken wir uns bei der folgenden Betrachtung auch nur auf diese eine Dimension. Das Atom besitzt zwei innere Energiezustände und befindet sich anfänglich im Grundzustand. Die Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen beträgt $h f_0$.



Entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Atoms verläuft ein Laserstrahl der Frequenz f_{ph} . Bei passender Wahl der Frequenz f_{ph} kann das Atom ein Photon des Laserstrahls absorbieren und anschließend spontan emittieren. Dabei geschieht die Emission mit gleicher Wahrscheinlichkeit mit oder entgegen der Bewegungsrichtung des Atoms.

Nimm im Folgenden an, dass die Geschwindigkeit v sehr viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit c ist und dass der Impuls des Atoms sehr viel größer als der Impuls eines einzelnen Photons ist.

- Bestimme die mittlere Änderung der kinetischen Energie des Atoms im Laborsystem, wenn dieses ein Photon absorbiert und anschließend wieder emittiert. Berechne auch die mittlere Änderung der Geschwindigkeit des Atoms in einem solchen Prozess.

Bei der Laserkühlung von Atomen wird nun zusätzlich ein Laserstrahl in Richtung der Geschwindigkeit des Atoms verwendet, dessen Photonen ebenfalls die Frequenz f_{ph} besitzen. Eine genaue Untersuchung des Kühlmechanismus ist aufwändiger. Die vorangehende Untersuchung erlaubt es dir aber, das Grundprinzip der Laserkühlung zu verstehen.

- Erläutere qualitativ, wie die beschriebene Anordnung zur Kühlung, also zur Abbremsung, von Atomen verwendet werden kann. Gib dabei auch an, ob die Frequenz f_{ph} der Photonen größer, kleiner oder gleich der Anregungsfrequenz f_0 der Atome gewählt werden muss.

Aufgabe 92 Exoplanet

(3. Runde zur 45. IPhO 2014, Idee: Lucas Rettenmeier)



Die Untersuchung von Exoplaneten, also Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einem aktiven Forschungsbereich der Astrophysik entwickelt. 2004 gelang die erste direkte Aufnahme eines Exoplaneten. Dieser kreist um den etwa 172 Lichtjahre von der Erde entfernten Stern 2M1207, einem braunen Zwerg mit einer Masse von etwa 25 Jupitermassen. In der nebenstehenden Abbildung ist der Exoplanet aufgrund seiner heißen Oberfläche gut zu erkennen.

Betrachten sie in dieser Aufgabe einen anderen heißen Exoplaneten, der sich ebenfalls um einen braunen Zwerg bewegt. Durch Untersuchungen des Abstandes, der Leuchtkraft und des Spektrums ist bekannt, dass der braune Zwerg eine Masse von $M_S \approx 4,75 \cdot 10^{28} \text{ kg}$, einen Radius von $r_S \approx 1,74 \cdot 10^8 \text{ m}$ sowie eine Oberflächentemperatur von $T_S \approx 2550 \text{ K}$ besitzt.

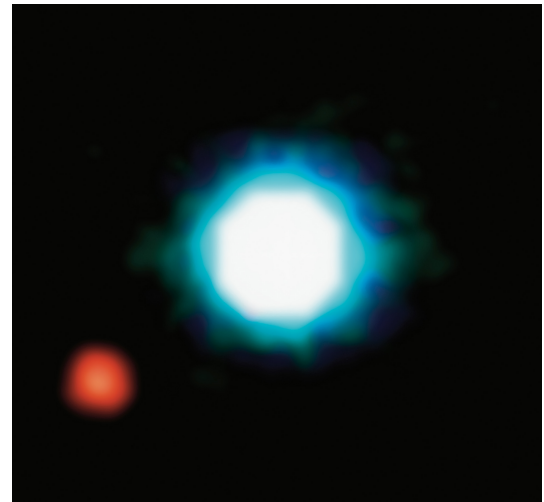


Abbildung 20: Abbildung im Infrarotbereich von 2M1207 mit Planeten (ESO).

Wenn die Bahnebene des Planeten in der Blickrichtung eines Beobachters auf der Erde liegt, können aus einer Untersuchung des von dem Sternsystem emittierten Lichtes Eigenschaften des Exoplaneten ermittelt werden. Dies soll im Folgenden angenommen werden. Die linke der beiden unten stehenden Abbildungen stellt die auf der Erde gemessene Intensität des von dem Stern und seinem Exoplaneten ausgesandten Lichtes als Funktion der Zeit dar. Zusätzlich zu einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit, bewegt sich der Stern periodisch auf die Erde zu oder von ihr weg. Die rechte Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf dieser Radialgeschwindigkeit des Sternes. Die Zeitachsen besitzen dabei nicht den selben Nullpunkt.

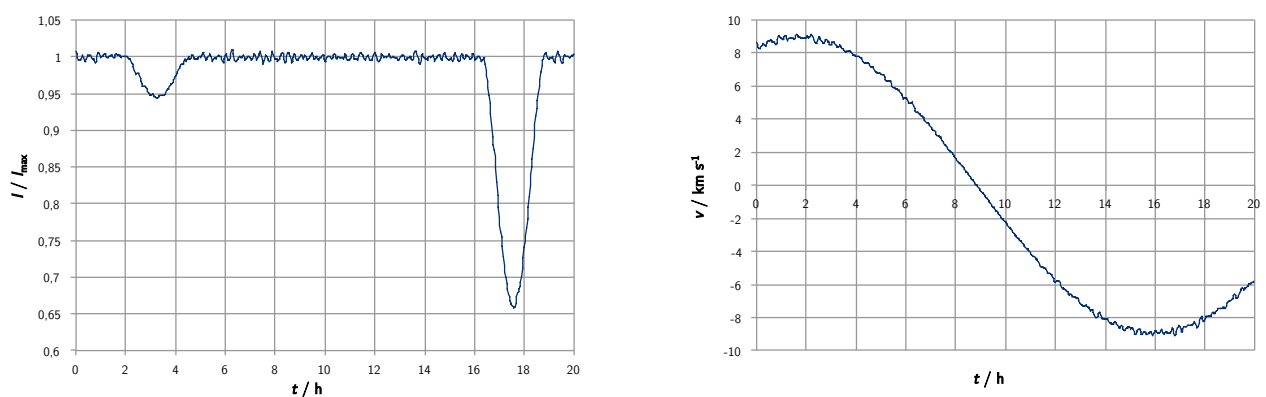


Abbildung 21: Graphen für den zeitlichen Verlauf der auf der Erde gemessenen relativen Strahlungsintensität I/I_{\max} des Sternsystems (links) sowie der Radialgeschwindigkeit v des Sternes (rechts).

Schätzen sie auf Basis der gegebenen Informationen den Radius, die Masse und die Dichte des Exoplaneten sowie seine Oberflächentemperatur ab.

Aufgabe 93 Größe von Eris

(3. Runde zur 43. IPhO 2012)



Eris gehört zu den in naher Vergangenheit entdeckten Zwergplaneten unseres Sonnensystems und die Untersuchung ihrer Größe gab letztlich mit Anlass dazu, dass die Internationale Astronomische Union ihre Definition von Planeten überarbeitete und Pluto nun nicht mehr als Planet geführt wird. Sie sollen in dieser Aufgabe einige der Untersuchungsschritte nachvollziehen.

Bei ersten Beobachtungen wurde festgestellt, dass sich Eris auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne jährlich um einen Winkel von $0,39^\circ$ weiterbewegt.

- a) Bestimmen Sie welchen Abstand Eris von der Sonne bei der Annahme einer kreisförmigen Umlaufbahn besitzt.

Da der Abstand sehr viel größer als der Abstand der Erde zur Sonne von etwa $1,5 \cdot 10^{11}$ m ist, kann im Folgenden davon ausgegangen werden, dass der Abstand von Eris zur Erde genau so groß ist wie der Abstand von Eris zur Sonne.

Eine obere Grenze für die Größe von Eris

Für eine grobe Abschätzung der Größe von Eris kann man das optische Auflösungsvermögen eines Teleskops heranziehen, das durch Beugungsphänomene begrenzt ist. Nach dem näherungsweise gültigen Dawes-Kriterium lässt sich eine Struktur bei einer Wellenlänge λ auflösen, solange der Winkel, den die Struktur abdeckt, größer als λ/d ist, wobei d den Durchmesser des Teleskops bezeichnet.

Das verwendete Teleskop besitzt einen Öffnungsdurchmesser von 1,2 m und konnte die Struktur von Eris bei einer Lichtwellenlänge von 550 nm nicht auflösen.

- b) Bestimmen Sie eine obere Grenze für den Radius von Eris.

Thermodynamisches Gleichgewicht

Unter den Annahmen, dass Eris sich wie ein schwarzer Körper verhält und sich in einem thermodynamischen Gleichgewicht befindet, lässt sich ihre Temperatur aus der Leuchtkraft L_s der Sonne abschätzen, die bei $3,85 \cdot 10^{26}$ W liegt.

- c) Schätzen Sie die Temperatur von Eris unter diesen Annahmen ab und zeigen Sie, dass der Radius von Eris auf diesem Wege nicht bestimmbar ist.

Albedo

Tatsächlich absorbiert ein Himmelskörper in der Regel nicht die gesamte Strahlung der Sonne, sondern reflektiert einen Anteil α der einfallenden Sonnenstrahlung zurück ins All. Der Faktor α wird Albedo genannt.

Der absorbierte Anteil des Sonnenlichtes wird von dem Körper bei einer größeren Wellenlänge wieder abgestrahlt. Die Albedo im Wellenlängenbereich dieser Strahlung ist dabei verschwindend klein. Die reemittierte Temperaturstrahlung konnte für Eris mit Hilfe von Radioteleskopen untersucht werden. Die Messergebnisse lassen auf eine Oberflächentemperatur von etwa 23 K schließen.

- d) Bestimmen Sie aus diesen Angaben die Albedo von Eris für das einfallende Sonnenlicht.

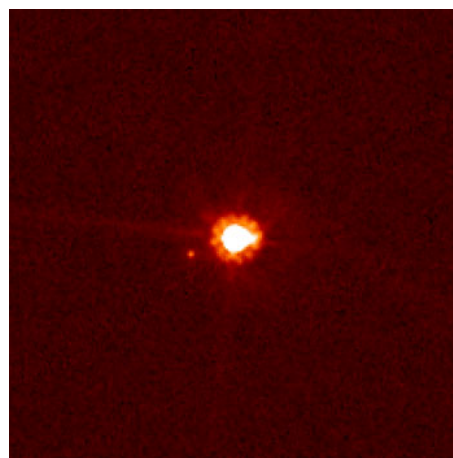


Abbildung 22: Aufnahme des Hubble-Teleskops von Eris und ihrem Mond Dysnomia aus dem Jahr 2006.

Eine genauere Abschätzung für die Größe von Eris

Die scheinbare Helligkeit m eines Objektes ist ein Maß dafür, wie hell es einem Beobachter auf der Erde erscheint. Sie ist definiert über den von dem Objekt auf der Erde eintreffenden Strahlungsstrom S im Bereich des sichtbaren Lichtes und angrenzender Wellenlängen, also der Leistung pro Fläche in diesem Spektralbereich. Für die scheinbare Helligkeit gilt

$$m = -2,5 \log_{10} \frac{S}{S_0},$$

wobei S_0 ein fester Referenzwert für den Strahlungsstrom ist. Die scheinbare Helligkeit der Sonne liegt bei $m_{\text{Sonne}} \approx -26,7$. Sie können annehmen, dass die Sonne Ihre Leistung hauptsächlich in dem für die scheinbare Helligkeit relevanten Spektralbereich abgibt.

Der von Eris direkt reflektierte Anteil der Sonnenstrahlung kann mit optischen Instrumenten auf der Erde vermessen werden. Die so gemessene maximale scheinbare Helligkeit von Eris beträgt $m_{\text{Eris}} \approx 18,7$. Nehmen Sie vereinfachend an, dass die reflektierte Strahlung gleichmäßig in einem Kegel mit einem Öffnungswinkel von 120° in Richtung Sonne abgestrahlt wird. Das entspricht der Abstrahlung in einen Raumwinkelanteil von $1/4$ des Gesamttraumwinkels.

- e) Führen Sie schließlich mit den Informationen aus den vorherigen Aufgabenteilen eine genauere Abschätzung für den Radius von Eris durch und vergleichen Sie diesen mit dem Radius von Pluto ($r_{\text{Pluto}} \approx 1200 \text{ km}$).

Aufgabe 94 Relativistischer Lichtkegel

(Vorbereitungstraining 3. Runde zur 48. IPhO 2017)



In einem Inertialsystem strahlt eine Lichtquelle mit einem Öffnungswinkel 90° kegelförmig Licht aus. In einem anderen Inertialsystem, das sich mit Geschwindigkeit v entlang der Kegelachse auf die Lichtquelle zubewegt, hat der Lichtkegel einen Öffnungswinkel von 60° .

Bestimme die Geschwindigkeit v .

Aufgabe 95 Ein seltsamer Anblick (Kurzaufgabe)

(4. Runde zur 49. IPhO 2018 und 3. Runde zur 41. IPhO 2010)



Ein Raumschiff bewegt sich mit einer Geschwindigkeit v senkrecht zur Ebene der Milchstraße. Aus Sicht eines Beobachters in der Milchstraße befindet es sich genau über dem galaktischen Zentrum in einer Entfernung d zur galaktischen Ebene.

Ein Beobachter in dem Raumschiff stellt erstaunt fest, dass er einen Teil der Milchstraße nicht hinter, sondern vor sich sieht.

- a) Berechne, unter welchem Winkel θ' zum Galaxienzentrum der Beobachter im Raumschiff einen Lichtstrahl empfängt, der für einen Beobachter in der Galaxie einen Winkel θ mit der Bahn des Raumschiffes einschließt (s. Skizze). (3.0 Pkt.)
- b) Die Milchstraße besitzt eine Ausdehnung von etwa 100 000 Lichtjahren, und das Raumschiff befindet sich in einer Entfernung von $d = 20\,000$ Lichtjahren von ihr entfernt. Bestimme die Geschwindigkeit, mit der sich das Raumschiff mindestens bewegen muss, wenn der Rand der Galaxie unter einem Winkel von $\theta' = 150^\circ$ aus dem Raumschiff zu sehen ist. (1.0 Pkt.)

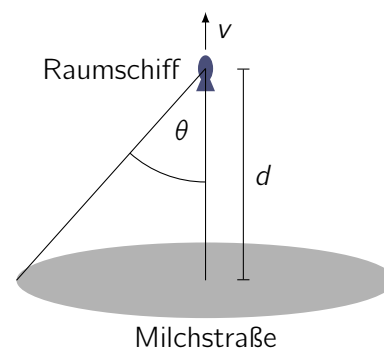


Abbildung 23: Nicht maßstabsgetreue Skizze des Raumschiffes und der Milchstraße.

Aufgabe 96 Undulatorstrahlung

●○○

(4. Runde zur 42. IPhO 2011, Idee: Peter Schmüser, DESY)

In einem Undulator bewegt sich ein Elektron sehr hoher Energie auf einer sinusförmigen Bahn der Periodenlänge λ_u . Es emittiert eine Strahlung, die in Vorwärtsrichtung gebündelt ist und deren Wellenlänge λ im Laborsystem näherungsweise durch die Formel

$$\lambda \approx \frac{\lambda_u}{2\gamma^2}, \quad \text{mit} \quad \frac{1}{\gamma} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

gegeben ist.

a) Leiten Sie obige Formel unter Verwendung geeigneter Näherungen her.

Betrachten Sie im Folgenden eine periodische Sequenz von N Elektronen, die durch den Undulator fliegen.

b) Geben Sie an, wie der Abstand benachbarter Elektronen gewählt werden muss, damit die ausgesendete Strahlung eine möglichst hohe bzw. eine möglichst geringe Intensität besitzt.

Aufgabe 97 Asymmetrische B-Fabrik

●○○

(Idee: Erich Lohrmann, DESY)

Eine effektive Methode zur Erforschung der Eigenschaft von B-Mesonen ist ihre Erzeugung durch Anregung der Ypsilon(4S)-Resonanz. Sie hat eine Ruhemasse von $10,58 \text{ GeV}/c^2$ und zerfällt in zwei B-Mesonen der Ruhemasse $5,279 \text{ GeV}/c^2$.

Sie kann durch Kollisionen von Elektronen mit Positronen in einem Speicherring mit der Energie von $5,29 \text{ GeV}$ pro Strahl erzeugt werden. Damit wird die Resonanz praktisch in Ruhe mit großem Wirkungsquerschnitt erzeugt. In der Praxis ist das aber nicht günstig für die Untersuchung der B-Mesonen. Es ist besser, Elektronen und Positronen mit verschiedener Energie aufeinander zu schießen. Im PEP II Speicherring am SLAC hat der eine Strahl eine Energie von $9,0 \text{ GeV}$ und der andere eine Energie von $3,1 \text{ GeV}$.

Berechne den Impuls und die Energie der erzeugten B-Mesonen im Laborsystem für diese asymmetrische Konfiguration.

Aufgabe 98 Kosmische Strahlung

●●○

(4. Runde zur 39. IPhO 2008)

Im Jahre 1966 haben die Physiker Greisen, Kuzmin und Zatsepin herausgefunden, dass Protonen oberhalb einer bestimmten Energie an Photonen unter Erzeugung eines Pions streuen

$$p + \gamma \rightarrow p + \pi^0.$$

Damit ist die Energie der Protonen der kosmischen Strahlung nach oben begrenzt, da die Teilchen ab dieser Energie an Photonen der Hintergrundstrahlung streuen.

Bestimmen Sie den Wert dieses sogenannten GZK-Cutoffs, d.h. die Energie der Protonen die minimal notwendig ist, um diese Reaktion zu ermöglichen.

Die Ruheenergie des Pions beträgt 135 MeV . Nehmen Sie an, dass die Photonen der Hintergrundstrahlung eine Wellenlänge von $1,9 \text{ mm}$ besitzen.

Aufgabe 99 Elektronen-Positronen Annihilation

(3. Runde zur 42. IPhO 2011)

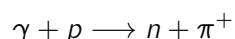
Ein Positron bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $180\,000\text{ km s}^{-1}$ und trifft auf ein ruhendes Elektron. Die beiden Teilchen vernichten sich und es entstehen zwei Photonen. Eines davon fliegt senkrecht zur Bewegungsrichtung des Positrons davon.

Bestimmen Sie den Winkel zur ursprünglichen Bewegungsrichtung des Positrons, unter dem das zweite Photon emittiert wird, sowie die Wellenlängen der beiden Photonen.

Aufgabe 100 Pionenerzeugung und -zerfall

(3. Runde zur 43. IPhO 2012)

Ein hochenergetisches Photon, das auf ein ruhendes Proton trifft, kann ein Pion (π^+) gemäß der Reaktion

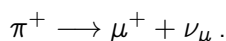


erzeugen. Die Ruhemasse des Pions beträgt $0,149 \cdot m_p$, wobei m_p die Protonenruhemasse angibt.

- Bestimmen Sie die für diese Reaktion mindestens notwendige Photonenenergie.
- Das Pion besitzt in seinem Ruhesystem eine Halbwertszeit von etwa $2,60 \cdot 10^{-8}\text{ s}$. In dieser Zeit legt Licht im Vakuum eine Strecke von ungefähr 7,79 m zurück.

Berechnen Sie, wie groß die Energie des für die Erzeugung des Pions verantwortlichen Photons sein muss, damit ein Pion im Laborsystem ebenfalls diese Strecke zurücklegen kann, bevor es so alt ist wie seine Halbwertszeit. Nehmen Sie dazu an, dass sich das Pion im Laborsystem in die gleiche Richtung bewegt, wie das einfallende Photon.

- Betrachten Sie abschließend das Pion in seinem Ruhesystem. Dort zerfalle es in ein Antimyon (μ^+) und ein annähernd ruhemasseloses Myon-Neutrino (ν_μ), d.h.



Bestimmen Sie die Verteilung der Gesamtenergie nach dem Zerfall und geben Sie an, welcher Anteil auf die kinetische Energie des Antimyons bzw. des Neutrinos entfällt. Die Ruhemasse des Antimyons beträgt etwa $0,113 \cdot m_p$.